

Л. А. Ісачанкава
Ю. Дз. Ляшчынскі

ФІЗІКА

Падручнік для 7 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання

Пад рэдакцыяй *Л. А. Ісачанкавай*

*Зацверджана
Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*



Мінск
«Народная асвета»
2009

УДК 53(075.3=161.3)

ББК 22.3я721

И85

Рэцэнзенты:

кандыдат фізіка-матэматычных навук, дацэнт кафедры тэарэтычнай фізікі Гомельскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Ф. Скарыны *Я. А. Дзей*; кафедра методыкі выкладання фізікі і астраноміі Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П. М. Машэрава (кандыдат педагагічных навук, дацэнт, загадчык кафедры *І. В. Галуза*); настаўнік фізікі вышэйшай катэгорыі сярэдняй школы № 184 г. Мінска

Л. І. Вашкевіч

Пераклад з рускай мовы *Т. Р. Сяржант*

ISBN 978-985-03-1200-6

© Ісачанкава Л. А., Ляшчынскі Ю. Дз.,
2009

© Сяржант Т. Р., пераклад на беларускую
мову, 2009

© Афармленне. УП «Народная асвета»,
2009

ЯК ПРАЦАВАЦЬ З ПАДРУЧНІКАМ

У 7-м класе вы працягнеце вывучэнне вельмі цікавай і вельмі важнай для жыцця навукі — фізікі. Дапамагчы вам у гэтым зможа дадзены падручнік.

Матэрыял, выкладзены ў падручніку, пазнаёміць вас з новымі фізічнымі з’явамі, паняццямі і велічынямі, найбольш важнымі законамі прыроды і іх значэннем для навукі, тэхнікі і практычнага жыцця.

Аднак каб вырашаць практычныя задачы, правільна тлумачыць тое, што адбываецца ў навакольным свеце, недастаткова толькі пазнаёміцца з фізічнымі з’явамі і паняццямі. Неабходна зразумець і засвоіць сутнасць фізічных з’яў і паняццяў, асноўныя заканамернасці, якім яны падпарадкоўваюцца. Каб праца з падручнікам была больш прадуктыўнай, мы хацелі б даць вам некалькі парад.

Прачытайце параграф спачатку бегла, каб зразумець сутнасць выкладзенага, а затым бярыцеся за яго вывучэнне грунтоўна. Не завучвайце на памяць тэкст параграфа. Асабліваю ўвагу ўдзяліце азначэнням велічынь, формулам, законам. Яны ў тэксце выдзелены тлустым шрыфтам. Калі формула мае вывад, яго трэба самастойна ўзнавіць у сшытку.

У тэксце параграфаў ёсць пытанні. Не пакідайце без адказу ніводнага з іх. Калі на нейкае з пытанняў вы не здолелі адказаць, вярніцеся яшчэ раз да пачатку параграфа і ўважліва прачытайце тэкст, пасля чаго зноў паспрабуйце адказаць на пытанне. Не ўхіляйцеся ад выканання нашай просьбы прывесці прыклады, што пацвярджаюць тую ці іншую з’яву. Запішыце гэтыя прыклады ў сшытак.

Уважліва чытайце апісанні доследаў, прыводзімых у параграфі. Многія з іх можна паўтарыць дома. Зрабіце гэта, і вы намнога лепш зразумеете матэрыял.

Сур’ёзна стаўцеся да галоўных вывадаў, што зроблены ў канцы параграфаў. Карысна іх запісаць у сшытак і дапоўніць сваімі меркаваннямі, якія ў вас непазбежна ўзнікнуць, калі вы засвоілі вучэбны матэрыял.

У канцы параграфаў для праверкі разумення матэрыялу прадугледжаны кантрольныя пытанні. Не забывайцеся пра гэта і старайцеся даць адказы на кожнае з іх, нават калі для гэтага спатрэбіцца выкарыстаць дадатковую літаратуру.

Пасля вывучэння тэарэтычнага матэрыялу, адказаў на кантрольныя пытанні трэба рашыць задачы, прапануемыя ў практыкаваннях. Задачы размешчаны па ступені ўзрастання складанасці, таму рэкамендуем пачынаць рашэнне з першых нумароў.

Найбольш складаныя задачы адзначаны знакам . Такім жа знакам адзначаны і найбольш складаныя кантрольныя пытанні. Калі вы здолелі рашыць усе задачы, значыць, матэрыял засвоены вамі дастаткова глыбока і вы можаце быць задаволены сваёй працай.

У некаторых параграфрах дробным шрыфтам надрукаваны дадатковы матэрыял па дадзенай тэме, які можа быць вывучаны вамі па жаданню.

У стварэнні падручніка прымаў удзел вялікі калектыў спецыялістаў. На падручнік затрачана добрая папера і фарбы. Цаніце працу і намаганні ўсіх, хто ствараў падручнік, — беражыце яго!

Жадаем вам творчай працы.

Аўтары



Рух і сілы

Чаму гром чуваць пазней, чым бліснула
маланка?

Ці можна імгненна спыніць аўтамабіль?

З якой сілай мы прыцягваем Зямлю?

Як перасунуць дом?



§ 1. Механічны рух. Адноснасць спакою і руху

З фізікі 6-га класа вы даведаліся аб хаатычным руху малекул. Малекулярны рух вельмі складаны.

У штодзённым жыцці мы сустракаемся з больш простымі відамі руху, характарыстыкі якіх можна лёгка вызначыць і апісаць з дапамогай нескладаных матэматычных формул.

Рухаюцца людзі, аўтамабілі (мал. 1), самалёты, Сонца, Месяц і інш. Навакольны свет немагчымы без руху.

Як вызначыць, рухаецца ці не дадзенае фізічнае цела?

Разгледзім прыклад. Вы стаіце на прыпынку і ўдалечыні бачыце аўтобус (мал. 2). Рухаецца ён ці не? Нягледзячы на тое, што кручэння колаў не бачна, вы ўпэўнена вызначаеце, што аўтобус рухаецца. Змяняецца з цягам часу яго становішча адносна кіёска, што знаходзіцца побач, дрэў, дамоў, нерухомах адносна паверхні Зямлі.

Такім жа чынам мы мяркуем аб руху воблакаў, птушак у небе, рыб у акварыуме, футбалістаў на полі, цягнікоў і любых іншых цел.

Змяненне становішча цела ў прасторы адносна іншых цел з цягам часу называецца механічным рухам.

Такім чынам, рух працякае ў прасторы і ў часе.



Мал. 1



Мал. 2

Разгледзім яшчэ адзін прыклад. Вы едзеце ў аўтобусе. Ці можна сказаць, што вы, седзячы ў аўтобусе, які рухаецца, знаходзіцеся ў стане спакою? І так, і не. Так — таму, што вы не рухаецеся ў аўтобусе, г. зн. з цягам часу ваша становішча адносна аўтобуса не змяняецца. Не — таму, што разам з аўтобусам вы рухаецеся адносна паверхні Зямлі. А калі аўтобус спыніўся? Цяпер вы знаходзіцеся ў стане спакою адносна аўтобуса і паверхні Зямлі, але рухаецеся разам з Зямлёю вакол Сонца (мал. 3), перамяшчаючыся за кожную секунду прыкладна на 30 км адносна зорак.

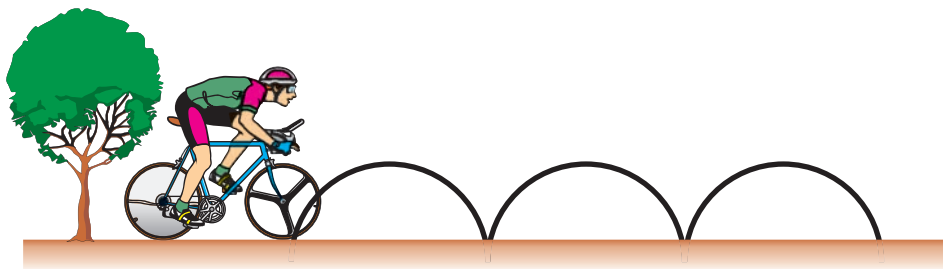


Мал. 3

Такім чынам, пакой і рух адносныя.

Больш за тое, адноснымі з'яўляюцца і асноўныя характарыстыкі руху. Замацуйце святлоадбівальнік (флікер) на вобадзе кола вашага веласіпеда. Якой будзе крывая, што апіша флікер (яе называюць *траекторыяй*) пры руху кола? Адносна вас або вашага сябра, які едзе побач з вамі, флікер будзе рухацца па акружнасці. А чалавек, што стаіць, міма якога вы праязджаеце, убачыць, што флікер апісвае не акружнасць, а складаную крывую (мал. 4). Значыць, форма траекторыі таксама адносная.

У далейшым мы будзем у асноўным разглядаць механічны рух цел адносна паверхні Зямлі.



Мал. 4

Галоўныя вывады

1. Механічны рух — гэта змяненне становішча цела ў прасторы адносна іншага цела або цел з цягам часу.
2. Механічны рух і спакой адносныя.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое механічны рух?
2. Чаму нельга вызначыць, рухаецца цела ці не, не суадносячы яго становішча са становішчам іншага цела?
3. Ці рухаецца чалавек, які стаіць на тратуары, адносна аўтобуса, што праяжджае?
4. Адносна якіх цел: а) рухаецца; б) знаходзіцца ў спакоі чалавек, што спускаецца на пляце ўніз па рацэ?
5. Што можна сказаць пра рух аўтамабіля адносна камбайна, з бункера якога ідзе перагрузка збожжа ў кузаў аўтамабіля без спынення камбайна?



§ 2. Траекторыя, шлях, час.

Адзінкі шляху і часу

Для рашэння навуковых і практычных задач неабходна ўмець апісваць механічны рух цела або яго частак, вызначаць характарыстыкі руху і выяўляць сувязі паміж імі.

Якімі фізічнымі велічынямі апісваецца механічны рух?

Правядзіце крэйдай па дошцы. Крэйда пры руху апісвае лінію, якая добра відаць на дошцы.

У блакітным небе часта выразна бачны белыя сляды ззаду рэактыўных самалётаў, якія рухаюцца (мал. 5). Катэр, што хутка імчыцца, пакідае пеністую дарожку на паверхні вады (мал. 6).

Лінія, якую апісвае цела пры сваім руху, называецца траекторыяй.

Мы прывялі прыклады рухаў, калі траекторыя — бачная лінія. Але часцей яна нябачная. Аднак траекторыю заўсёды можна намаляваць, калі адзначыць кропкамі становішчы цела, якое рухаецца, у



Мал. 5



Мал. 6

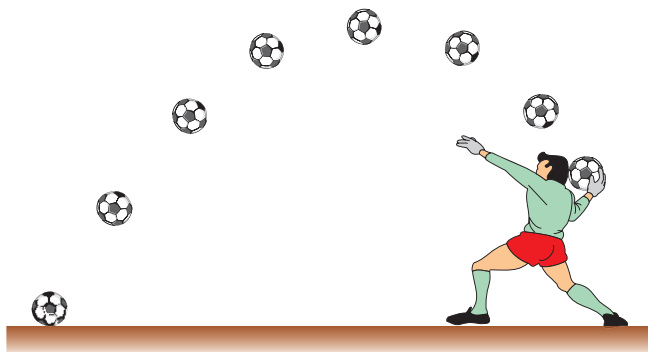
розныя моманты часу, а затым злучыць гэтыя кропкі. Нескладана, напрыклад, уявіць траекторыю мяча, які ляціць (мал. 7).

Калі траекторыя руху — прамая лінія, рух называецца прамалінейным. Напрыклад, траекторыя яблыка, які падае з дрэва (мал. 8).

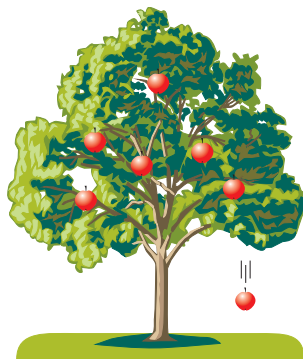
Калі ж траекторыя — крывая лінія, то рух называецца крывалінейным (гл. мал. 7).

Даўжыня той часткі траекторыі, якую апісвае цела за дадзены прамежак часу, называецца шляхам, пройдзеным целам за гэты прамежак часу.

Абазначаецца шлях звычайна літарай *s*. Шлях — гэта фізічная велічыня. Яго можна вымераць. Адзінкай шляху ў СІ з'яўляецца



Мал. 7



Мал. 8

1 метр (1 м). (Аб эталоне метра можна даведацца, прачытаўшы Дадатак 1 у канцы кнігі.) На практыцы часта шлях вымяраюць у кратных адзінках — кіламетрах або дольных — сантыметрах, міліметрах, мікраметрах.

А што такое прамежак часу? Дапусцім, вы адпраўляецеся ў падарожжа на цягніку «Мінск — Масква». Паставім пытанне: «За які прамежак часу цягнік пройдзе шлях $s = 212$ км ад Мінска да Оршы?» Адказаць на гэтае пытанне вельмі лёгка. Трэба ведаць момант часу, калі цягнік адпраўляецца з Мінска. Абазначым яго літарай t з індэксам 1, г. зн. t_1 . Трэба ведаць і момант часу, калі цягнік прыбывае ў Оршу. Абазначым яго праз t_2 . Прамежак часу, за які цягнік праходзіць шлях ад Мінска да Оршы, будзе роўны:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

(Δ — грэч. «дэльта» — знак, які абазначае ў матэматыцы і фізіцы змяненне велічыні, г. зн. рознасць яе канечнага і пачатковага значэнняў). Напрыклад: $t_1 = 20$ г 10 мін, $t_2 = 23$ г 15 мін. Тады $\Delta t = 3$ г 5 мін.

Адзінкай часу ў СІ з’яўляецца 1 секунда (1 с). Але ж вы не будзеце прамежак часу, на працягу якога цягнік або аўтобус рухаюцца з аднаго горада ў другі, выражаць у секундах? Зручней карыстацца кратнымі адзінкамі часу: мінутай (мін) і гадзінай (г).

Існуюць і такія адзінкі часу, як суткі (сут), год. Адны суткі роўны 24 г, 1 год роўны 365 (366) сут.

Для вымярэння прамежкаў часу служаць розныя прыборы, напрыклад *метраном* (мал. 9, а), *гадзіннік* (мал. 9, б).

Для практычных мэт карысна навучыцца адлічваць пра сябе секунды, вымаўляючы лікі праз роўныя інтэрвалы часу.

У час лячэбных працэдур бывае неабходна проста фіксаваць пэўны прамежак часу, напрыклад 1 мін або 5 мін. У гэтым выпадку зручна карыстацца пясочным гадзіннікам (мал. 9, в).



Мал. 9

Што прынята за эталон секунды, вы даведаецеся, калі прачытаеце Дадатак 1 у канцы дадзенага падручніка.

Галоўныя вывады

1. Траекторыя — гэта лінія, якую апісвае цела пры сваім руху.
2. Калі траекторыя — прамая лінія, то рух прамалінейны, калі траекторыя — крывая лінія, то рух крывалінейны.
3. Шлях — даўжыня той часткі траекторыі, якую апісвае цела за дадзены прамежак часу.

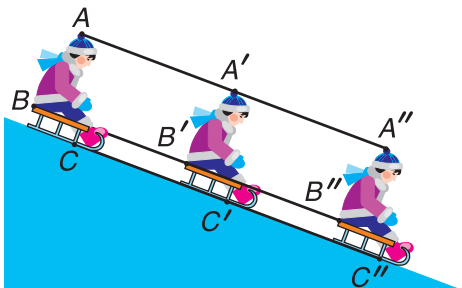
Кантрольныя пытанні

1. Чым адрозніваецца шлях ад траекторыі?
2. У якіх адзінках вымяраецца шлях?
3. У якіх адзінках вымяраюцца прамежкі часу?
4. Калі (зімой ці летам) паляўнічаму, як правіла, прасцей адшукаць звера? Чаму?
5. Як разумець наступны запіс: $\Delta t = 150$ с? Выразіце гэты прамежак часу ў мінутах.
6. Якая траекторыя канца лопасці прапелера спартыўнага самалёта: а) адносна ўзлётнай пляцоўкі; б) адносна пілота самалёта?



§ 3. Раўнамерны рух. Скорасць. Адзінкі скорасці

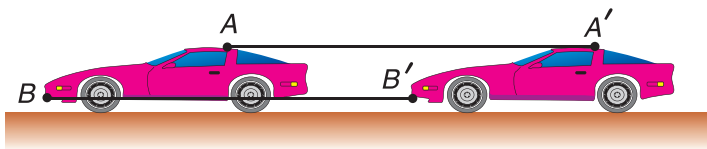
Сярод усёй разнастайнасці рухаў цел найбольш проста апісваецца раўнамерны прамалінейны рух. Што ўяўляе сабой гэты рух? Як яго ахарактарызаваць?



Мал. 10

Разгледзім прыклад. Дзяўчынка на санках спускаецца з горкі. Будзем назіраць за рухам некалькіх пунктаў, напрыклад A , B , C (мал. 10). Гэтыя пункты рухаюцца аднолькава, апісваючы роўныя траекторыі. **Рух, пры якім усе пункты цела апісваюць аднолькавыя па форме і роўныя па даўжыні траекторыі, называецца паступальным.**

Але калі цела рухаецца паступальна, ці трэба нам вывучаць рух усяго цела або дастаткова вывучыць рух толькі аднаго пункта? Усе ж пункты (мал. 11) рухаюцца зусім аднолькава. У дадзеным падручніку мы будзем вывучаць рух цела, не разглядаючы яго форму, памеры, г. зн. будзем цела мадэліраваць пунктам.



Мал. 11

Як вызначыць, які шлях пройдзе цела пры руху за дадзены прамежак часу?

Няхай калясачка рухаецца прамалінейна (мал. 12). Будзем адзначаць яе становішчы, дакладней, становішчы пункта A праз роўныя прамежкі часу. Гэта можна зрабіць, устанавіўшы на калясачцы кропельніцу, з якой праз роўныя прамежкі часу, напрыклад праз 2 с , выцякаюць кроплі. Вызначым шляхі, што праходзіць калясачка за $\Delta t = 2\text{ с}$ на першым, другім, трэцім і г. д. участках руху.

Падабраўшы груз (гл. мал. 12), можна дасягнуць таго, што шляхі, пройдзеныя калясачкай за роўныя прамежкі часу $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = 2$ с, акажуцца роўнымі $s_1 = s_2 = s_3 = \dots = 0,4$ м.

Калі паменшыць прамежкі часу, то ў столькі ж разоў паменшацца і шляхі, што пройдзены.

Прамалінейны рух, пры якім цела за любыя роўныя прамежкі часу праходзіць роўныя шляхі, называецца раўнамерным.

Знойдзем адносіну шляхоў да адпаведных прамежкаў часу:

$$\frac{s_1}{\Delta t_1} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\frac{s_2}{\Delta t_2} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\frac{s_3}{\Delta t_3} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Велічыня $\frac{s}{\Delta t}$ — новая фізічная велічыня, якая называецца *скорасцю*. Абазначаецца скорасць літарай v .

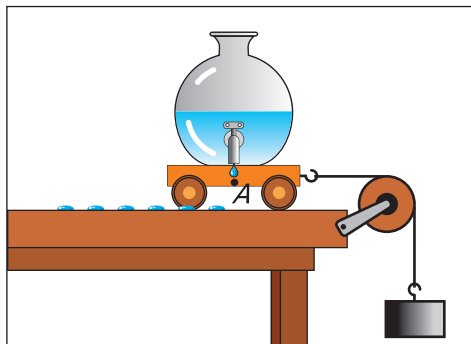
Тады для раўнамернага прамалінейнага руху можна запісаць формулу:

$$\text{скорасць} = \frac{\text{шлях}}{\text{прамежак часу}}, \quad \text{або} \quad v = \frac{s}{\Delta t}. \quad (1)$$

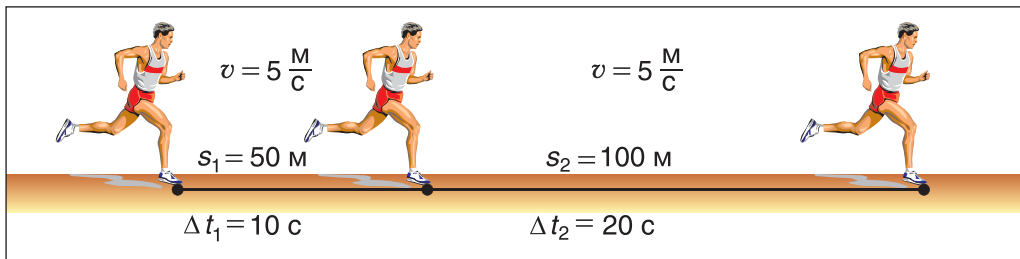
З формулы (1) вынікае, што **скорасць раўнамернага прамалінейнага руху лікава роўна шляху, што праходзіць цела за адзінку часу**. У гэтым фізічны сэнс скорасці.

З формулы (1) лёгка знайсці пройдзены шлях s за любы прамежак часу Δt :

$$s = v \Delta t. \quad (2)$$



Мал. 12

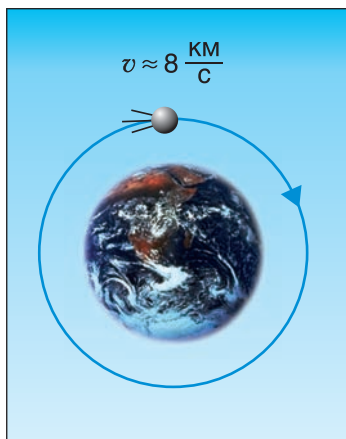


Мал. 13

На прыкладзе з кропельніцай вы ўпэўніліся, што пры раўнамерным прамалінейным руху скорасць з’яўляецца пастаяннай велічынёй. З павелічэннем прамежку часу павялічваецца шлях (мал. 13), але скорасць застаецца пастаяннай.

Значыць, скорасць з’яўляецца характарыстыкай дадзенага руху. Цяпер можна даць яшчэ адно азначэнне раўнамернага прамалінейнага руху, выкарыстоўваючы яго характарыстыку — скорасць. Вы, напэўна, самі ўжо здагадаліся, што **раўнамерны прамалінейны рух — гэта рух з пастаяннай скорасцю**.

Адзінкай скорасці ў СІ з’яўляецца 1 метр у секунду ($1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$). На практыцы часта карыстаюцца іншымі адзінкамі. Напрыклад, скорасць звычайных транспартных сродкаў (аўтобуса, цягніка, самалёта і інш.) зручна выражаць у кіламетрах у гадзіну ($\frac{\text{км}}{\text{г}}$). Скорасць касмічных ракет, спутнікаў (мал. 14) выражаюць у кіламетрах у секунду ($\frac{\text{км}}{\text{с}}$).



Мал. 14

Пры рашэнні задач, як правіла, усе фізічныя велічыні выражаюць праз адзінкі СІ.

Няхай аўтамабіль рухаецца па шашы са скорасцю $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Выразім гэту скорасць у метрах у секунду ($\frac{\text{м}}{\text{с}}$):

$$v = 72 \frac{\text{км}}{\text{г}} = 72 \cdot \frac{1 \text{ км}}{1 \text{ г}} = 72 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{72 \text{ м}}{3,6 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорасць пешахода $v = 5,4 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Выразіце яе ў метрах у секунду ($\frac{\text{м}}{\text{с}}$).

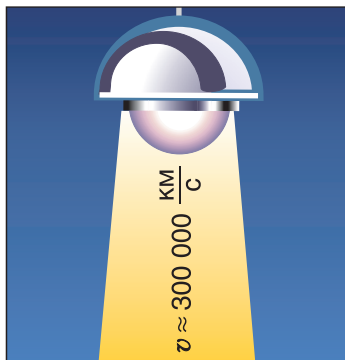
Максімальная скорасць, якая існуе ў прыродзе, — гэта скорасць распаўсюджвання святла ў пушце (мал. 15). Яна роўна $299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Вас не здзівіла велізарнае значэнне гэтай скорасці?

Параўнайце яе са скорасцю гуку ў паветры — $v_{\text{гук}} \approx 332 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Цяпер лёгка растлумачыць, чаму гром вы чуеце пазней, чым бачыце маланку, хаця маланка і гром узнікаюць практычна адначасова.

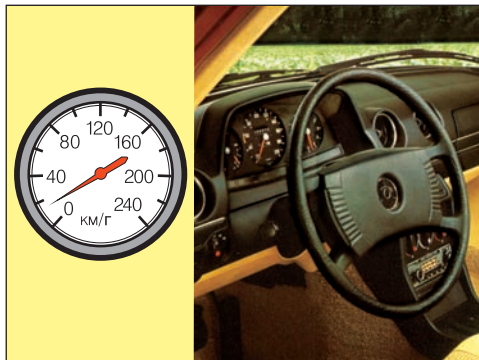
З формулы $v = \frac{s}{\Delta t}$ вынікае, што для знаходжання скорасці трэба ведаць шлях і прамежак часу, за які гэты шлях пройдзены.

Але людзі вынайшлі і шырока прымяняюць прыборы, якія непасрэдна паказваюць скорасць, напрыклад стрэлкай на цыферблате. Такія прыборы называюцца *спідометрамі* (мал. 16).

Калі скорасць руху аўтамабіля роўна $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, а самалёта — $v_2 = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, то за адзін і той жа час самалёт пераадолее ў 10 разоў большы шлях, а гэта значыць, што самалёт рухаецца ў 10 разоў хутчэй за аўтамабіль.



Мал. 15



Мал. 16

Такім чынам, скорасць характарызуе хуткасць руху, г. зн. паказвае, як хутка мяняе цела сваё становішча ў прасторы адносна іншых цел.

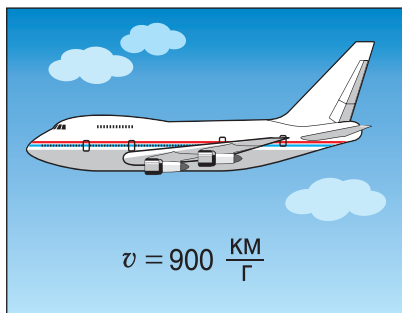
Галоўныя вывады

1. Скорасць — колькасная характарыстыка хуткасці руху.
2. Вызначыць скорасць руху можна, раздзяліўшы пройдзены шлях на затрачаны прамежак часу.
3. Калі скорасць пастаянная, то рух раўнамерны і прамалінейны.

Кантрольныя пытанні

1. Які рух называюць паступальным?
2. У якім выпадку механічны рух можна назваць раўнамерным?
3. Што паказвае скорасць руху?
4. Як з формулы скорасці знайсці: а) пройдзены шлях; б) прамежак часу руху?
5. Ці можна ў фармуліроўцы раўнамернага руху ў спалучэнні слоў «за любыя роўныя прамежкі часу» зняць слова «любыя»? Чаму?
6. Ці залежыць скорасць цела, якое раўнамерна рухаецца, ад велічыні прамежку часу? Чаму?

§ 4. Графікі шляху і скорасці пры раўнамерным прамалінейным руху



Мал. 17

Ці можна выразіць сувязь шляху s і часу t не праз формулы, а якім-небудзь іншым спосабам? Для гэтай мэты карыстаюцца графікамі.

Растлумачым сутнасць графічнага метаду на канкрэтным прыкладзе (мал. 17).

Няхай самалёт ТУ-134 рухаецца раўнамерна і прамалінейна са ско-

расцю $v = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Наша задача: апісаць рух самалёта графічна, г. зн. пабудаваць графікі залежнасці шляху і скорасці руху самалёта ад часу руху.

Шлях, які пралятае самалёт ад пачатковага моманту часу t_0 да моманту часу t , роўны $s = v(t - t_0)$. Пачатковы момант часу t_0 можна прыняць за нуль ($t_0 = 0$), тады формула шляху спростіцца:

$$s = vt.$$

Абедзве формулы $s = v\Delta t$ і $s = vt$ вызначаюць адно і тое ж — шлях, Δt і t — прамежкі часу, але формулай $s = vt$ карыстацца лягчэй.

Знойдзем значэнні шляху для розных значэнняў прамежку часу і запішам іх у табліцу 1. Напрыклад, калі $t = 3$ г, то $s = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}} \cdot 3 \text{ г} = 2700$ км.

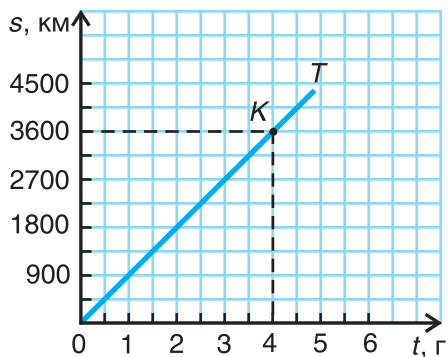
Табліца 1

Час руху (t , г)	0	1	2	3	4	5	6
Пройдзены шлях (s , км)	0	900	1800	2700	3600	4500	5400

Цяпер пабудуем графік залежнасці шляху ад часу. Па восі абсцыс у вызначаным маштабе (напрыклад, 1 см — 1 г) будзем адкладваць прамежкі часу руху, а па восі ардынат (у маштабе 1 см — 900 км) — шлях (мал. 18).

Праямая OT выражае графічную залежнасць шляху ад часу раўнамернага руху самалёта ТУ-134, скорасць якога роўна $v = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}}$.

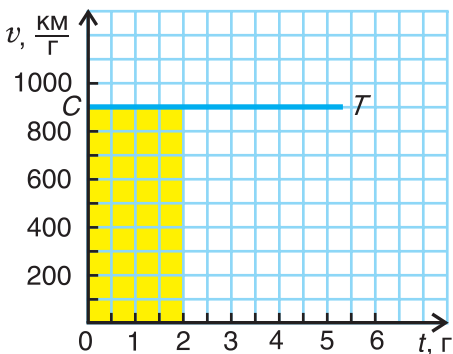
Будзем называць гэту прамую *графікам шляху*. Яго каштоўнасць у тым, што ён, як і суадносіна $s = vt$, дазваляе рашыць галоўную задачу — знайсці шлях s , пройдзены цэлам за адвольны прамежак часу t .



Мал. 18

Напрыклад, нас цікавіць шлях, які праляцеў самалёт за прамежак часу $t = 4,0$ г. Для гэтага з пункта на гарызантальнай восі, які адпавядае часу $t = 4,0$ г (см. мал. 18), праводзім перпендыкуляр да перасячэння з графікам (пункт K), а са знойдзенага пункта K апускаем перпендыкуляр на вось ардынат, што і прыводзіць нас да адказу без усякіх вылічэнняў. Шлях $s = 3600$ км.

А што ўяўляе сабой графік скорасці? Ён выражае залежнасць скорасці ад часу. Паколькі скорасць з цягам часу не змяняецца, то розным момантам часу адпавядае адно і тое ж значэнне скорасці. Зробім аналагічна таму, як у выпадку шляху, г. зн. складзём табліцу 2 і, адкладваючы па восі абсцыс час, а па восі ардынат — скорасць, пабудуем прамую, якая выражае залежнасць скорасці ад часу (мал. 19).



Мал. 19

Табліца 2

Час руху (t , г)	1	2	3	4	5	6
Скорасць руху (v , $\frac{\text{км}}{\text{г}}$)	900	900	900	900	900	900

Графік скорасці прамалінейнага руху ўяўляе сабой прамую, паралельную восі часу.

Праяма ST уяўляе сабой графік скорасці самалёта ТУ-134. Што нам дае графік скорасці? Ён не толькі паказвае значэнне скорасці, але і дазваляе знайсці пройдзены шлях. Разгледзім, як гэта зрабіць. Разлічым шлях самалёта за прамежак часу $t = 2$ г. Згодна з формулай $s = vt$ гэты шлях $s = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}} \cdot 2 \text{ г} = 1800$ км. Паглядзім на гэту аперацыю множання з пункту гледжання геаметрыі. Першы множнік ($900 \frac{\text{км}}{\text{г}}$) выражае вышыню заштрыхаванага прамавугольніка

(гл. мал. 19), другі (2 г) — аснову гэтага прамавугольнага. З матэматыкі вы ўжо ведаеце, што множаннем вышыні на аснову знаходзяць плошчу прамавугольнага. Безумоўна, плошча не ёсць шлях, тут гаворка ідзе толькі пра лікавую роўнасць. **Пройдзены шлях лікава роўны плошчы фігуры пад графікам скорасці!**

Паспрабуйце такім спосабам знайсці шлях, які праляціць самалёт за прамежак часу $\Delta t = 4$ г.

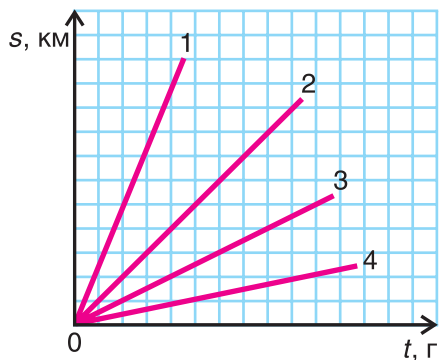
Галоўныя вывады

1. Графік шляху выражае залежнасць пройдзенага шляху ад часу руху цела.

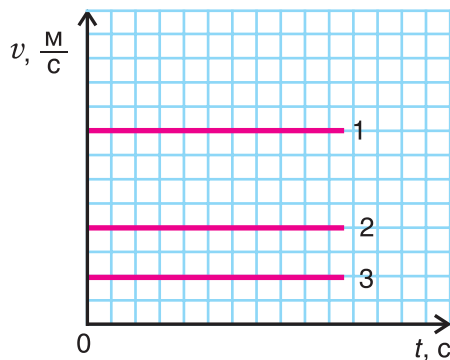
2. Шлях пры раўнамерным прамалінейным руху вызначаецца з формулы $s = vt$, графіка шляху або з дапамогай графіка скорасці.

Кантрольныя пытанні

1. Што выражае графік шляху?
2. Для якога руху графік шляху ўяўляе сабой прамую?
3. Як па графіку скорасці вызначыць пройдзены шлях?
4. У якім з рухаў, графікі шляху якіх паказаны на малюнку 20, цела мела большую скорасць?
5. У якім з рухаў (гл. мал. 20) на праходжанне аднаго і таго ж шляху затрачана больш часу?
6. У якім з рухаў, графікі скорасці якіх паказаны на малюнку 21, пройдзены большы шлях за адзін і той жа прамежак часу?



Мал. 20



Мал. 21

Прыклады рашэння задач

Прыклад 1. Легкавы і грузавы аўтамабілі раўнамерна рухаюцца ў адным напрамку па паралельных палосах прамалінейнага ўчастка шашы. Скорасць легкавага аўтамабіля $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, грузавага — $v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Якой будзе адлегласць паміж аўтамабілямі праз прамежак часу $t = 3,0$ мін, калі ў пачатковы момант аўтамабілі знаходзіліся побач.

Запішам умовы і выразім велічыні праз асноўныя адзінкі СІ.

Дадзена:

$$v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{г}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 3,0 \text{ мін} = 180 \text{ с}$$

l — ?

Рашэнне

Знойдзем шляхі, якія праехалі кожны з аўтамабіляў за прамежак часу t :

$$s_1 = v_1 t; \quad s_2 = v_2 t.$$

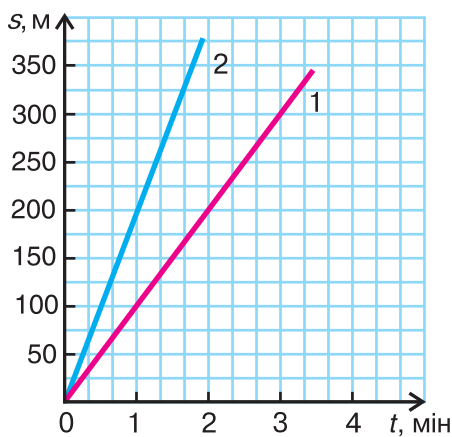
Адлегласць паміж аўтамабілямі:

$$l = s_1 - s_2 = (v_1 - v_2)t.$$

Падставім значэнні і вылічым:

$$l = \left(25 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right) \cdot 180 \text{ с} = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 180 \text{ с} = 900 \text{ м} = 0,90 \text{ км}.$$

Адказ: $l = 0,90 \text{ км}$.



Мал. 22

Прыклад 2. Графікі залежнасці шляху ад часу раўнамерных прамалінейных рухаў пешахода Дзімы і веласіпедыста Пеці прадстаўлены на малюнку 22. У колькі разоў адрозніваюцца скорасці руху хлопчыкаў?

Рашэнне

З графікаў вынікае, што за прамежак часу $t = 1$ мін Дзіма прайшоў шлях $s_1 = 100 \text{ м}$, а Пеця — $s_2 = 200 \text{ м}$.

Скорасць руху Дзімы: $v_1 = \frac{s_1}{t} = \frac{100 \text{ м}}{1 \text{ мін}} = 100 \frac{\text{м}}{\text{мін}};$

Пеці — $v_2 = \frac{s_2}{t} = \frac{200 \text{ м}}{1 \text{ мін}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{мін}}.$

Адносіна:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{200 \frac{\text{м}}{\text{мін}}}{100 \frac{\text{м}}{\text{мін}}} = 2.$$

Адказ: скорасць руху Пеці на веласіпедзе ў 2 разы большая за скорасць руху Дзімы пяшком.

Такі самы адказ можна было атрымаць прасцей:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{s_2}{t} : \frac{s_1}{t} = \frac{s_2}{s_1}.$$

З графіка для аднаго і таго ж моманту часу, напрыклад $t = 1 \text{ мін}$ (або 2 мін і г. д.), вызначаем шляхі s_2 і s_1 :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{200 \text{ м}}{100 \text{ м}} = 2.$$

Практыкаванне 1

1. Якая са скарасцей большая:

а) $v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{мін}}$ або $v_2 = 900 \frac{\text{км}}{\text{г}}$; б) $v_3 = 200 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ або $v_4 = 7,2 \frac{\text{км}}{\text{г}}$?

2. Аўтобус праехаў раўнамерна шлях $s = 140 \text{ км}$ за прамежак часу $t = 2,0 \text{ г}$. З якой скорасцю ехаў аўтобус?

3. Чалавек пачуў гром на $t = 13 \text{ с}$ пазней, чым убачыў маланку. На якой адлегласці ад чалавека ўспыхнула маланка?

4. Турысты на байдарцы са скорасцю $v_1 = 18 \frac{\text{км}}{\text{г}}$ і рыбак на гумавай лодцы са скорасцю $v_2 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ раўнамерна пераплываюць возера шырынёй $l = 400 \text{ м}$. У колькі разоў адрозніваюцца прамежкі часу, затрачаныя на іх пераправу? Рашыце задачу двума спосабамі. Якая велічыня ва ўмове задачы лішняя? Чаму?

5. Аўтамабіль, які рухаецца з пастаяннай скорасцю $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, абганяе матацыкліста, які мае скорасць $v_2 = 60 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Праз які

прамежак часу пасля абгону адлегласць паміж імі складзе $s = 3$ км?



6. Два сябры адправіліся на возера купацца. Адзін едзе на веласіпедзе са скорасцю $v_1 = 18 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, другі — тым жа шляхам на скутэры са скорасцю $v_2 = 36 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. На колькі часу адзін з сяброў прыедзе на возера раней, калі шлях да возера $s = 5,0$ км?

§ 5. Нераўнамерны (пераменны) рух. Сярэдняя скорасць

Паспрабуйце прааналізаваць рух аўтобуса, на якім вы едзеце да свайго сябра. Вы адзначыце, што аўтобус памяншае скорасць перад прыпынкам. Затым на працягу нейкага прамежку часу ён стаіць на прыпынку, і скорасць роўна нулю, пасля чаго скорасць павялічваецца і г. д. Значыць, скорасць аўтобуса ў працэсе руху змяняецца, г. зн. яна з'яўляецца пераменнай велічынёй.

Рух, пры якім скорасць не застаецца пастаяннай на працягу разглядаемага прамежку часу, называецца нераўнамерным або пераменным рухам.

Практычна ўсе рухі, якія назіраюцца ў прыродзе і тэхніцы, — нераўнамерныя. Са скорасцю, што мяняецца, рухаюцца людзі (мал. 23), птушкі, дэльфіны (мал. 24), цягнікі, дэталі машын, па-



Мал. 23



Мал. 24

даюць прадметы (мал. 25). Але як жа тады характарызаваць гэты рух?

Нераўнамерны рух характарызуецца *сярэдняй скорасцю*. Як вызначыць сярэдняю скорасць?

Разгледзім прыклад. Вы едзеце на экскурсію ў Брэст на цягніку. Цягнік праходзіць ад Мінска да Брэста шлях, роўны $s = 330$ км. На праходжанне гэтага шляху затрачваецца час $t = 4,5$ г. На працягу гэтага прамежку часу цягнік стаіць на станцыях, рухаецца то са скорасцю, якая павялічваецца, то са скорасцю, якая памяншаецца.

Сярэдняю скорасць знаходзяць дзяленнем усяго шляху на ўвесь прамежак часу, за які гэты шлях пройдзены. Абазначым сярэдняю скорасць $\langle v \rangle$ і запішам формулу:

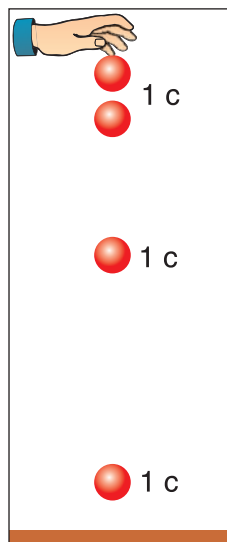
$$\langle v \rangle = \frac{s}{\Delta t}.$$

Тады цягнік «Мінск — Брэст» рухаецца з сярэдняй скорасцю:

$$\langle v \rangle = \frac{330 \text{ км}}{4,5 \text{ г}} \approx 73 \frac{\text{км}}{\text{г}}.$$

Вас не здзівіла, што мы выкарысталі формулу раўнамернага руху? Так, сапраўды, фармальна мы знайшлі сярэдняю скорасць такім чынам, быццам цягнік увесь шлях $s = 330$ км ішоў раўнамерна з пастаяннай скорасцю $v = 73 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Гэта, зразумела, не значыць, што ён на самай справе рухаўся раўнамерна. На асобных участках шляху скорасць цягніка была як значна большай (да $120 \frac{\text{км}}{\text{г}}$), так і меншай за $73 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, і нават роўнай нулю.

Сярэдняя скорасць дае толькі прыблізнае ўяўленне аб хуткасці руху цела. Апісанне пераменнага руху больш складанае ў параўнанні з апісаннем раўнамернага.



Мал. 25

Напрыклад, калі скорасць цягніка на ўчастку разгону ўзрастае ад 0 да $90 \frac{\text{км}}{\text{г}}$, то ў розных пунктах участка яна прымае розныя значэнні з гэтага прамежку. Такім чынам, можна гаварыць не толькі аб сярэдняй скорасці на дадзеным участку траекторыі, але і аб скорасці ў дадзеным пункце траекторыі. Такую скорасць называюць у фізіцы **імгненнай скорасцю**.

Галоўныя вывады

1. Характарыстыкай нераўнамернага руху з'яўляецца сярэдняя скорасць.
2. Для вылічэння сярэдняй скорасці трэба шлях раздзяліць на ўвесь прамежак часу, затрачаны на праходжанне гэтага шляху.

Кантрольныя пытанні

1. Чым адрозніваецца нераўнамерны рух цела ад раўнамернага?
2. Як знайсці сярэднюю скорасць нераўнамернага руху?
3. Ці можна паняцце «сярэдня скорасць» прымяняць для раўнамернага руху?



4. Ці залежыць сярэдняя скорасць нераўнамернага руху ад велічыні выбранага прамежку часу? Прывядзіце тлумачальны прыклад.



5. Камень упаў з вышыні $h = 2$ м. Ці аднолькавая яго сярэдняя скорасць на першым і на другім метрах падзення?
6. Вызначце сярэднюю скорасць свайго руху ад дому да школы.

Прыклады рашэння задач

Прыклад 1. Каця прайшла шлях $s_1 = 0,60$ км за прамежак часу $t_1 = 25$ мін. Затым спынілася і на працягу прамежку часу $t_2 = 20$ мін размаўляла з сяброўкай, пасля чаго пайшла далей і шлях $s_2 = 0,40$ км прайшла за прамежак часу $t_3 = 15$ мін. Вызначце сярэднюю скорасць руху Каці.

Дадзена:

$$s_1 = 0,60 \text{ км}$$

$$s_2 = 0,40 \text{ км}$$

$$t_1 = 25 \text{ мін}$$

$$t_2 = 20 \text{ мін}$$

$$t_3 = 15 \text{ мін}$$

$\langle v \rangle$ — ?

Рашэнне

Увесь шлях, які прайшла Каця:

$$s = s_1 + s_2.$$

Увесь затрачаны прамежак часу:

$$t = t_1 + t_2 + t_3.$$

Сярэдняя скорасць руху Каці:

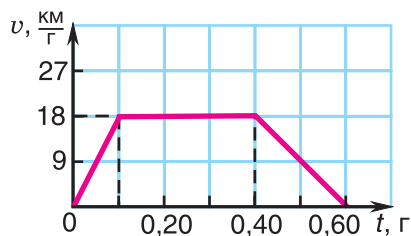
$$\langle v \rangle = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2 + t_3},$$

або:

$$\langle v \rangle = \frac{0,60 \text{ км} + 0,40 \text{ км}}{25 \text{ мін} + 20 \text{ мін} + 15 \text{ мін}} = \frac{1,0 \text{ км}}{60 \text{ мін}} = \frac{1,0 \text{ км}}{1 \text{ г}} = 1,0 \frac{\text{км}}{\text{г}}.$$

$$\text{Адказ: } \langle v \rangle = 1,0 \frac{\text{км}}{\text{г}}.$$

Прыклад 2. Графік скорасці руху велосіпедыста прадстаўлены на малюнку 26. Вызначце шлях, які праехаў велосіпедыст, і сярэднюю скорасць яго руху за прамежак часу $t = 0,60$ г.



Мал. 26

Рашэнне

Шукаемы шлях лікава роўны плошчы пад графікам скорасці:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,9 \text{ км} + 5,4 \text{ км} + 1,8 \text{ км} = 8,1 \text{ км}.$$

Сярэдняя скорасць руху велосіпедыста:

$$\langle v \rangle = \frac{s}{t} = \frac{8,1 \text{ км}}{0,6 \text{ г}} = 13,5 \frac{\text{км}}{\text{г}} \approx 14 \frac{\text{км}}{\text{г}}.$$

$$\text{Адказ: } \langle v \rangle = 14 \frac{\text{км}}{\text{г}}.$$

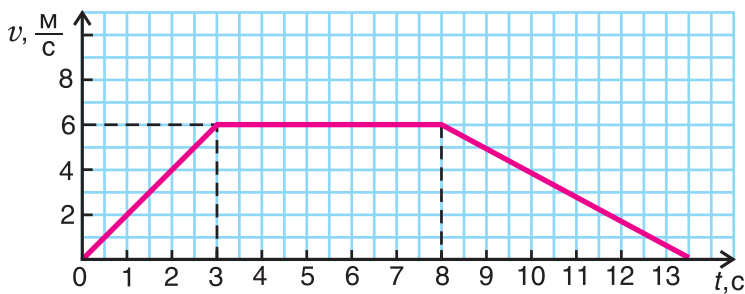
Практыкаванне 2

1. Аўтамабіль тармазіць да поўнага спынення на працягу прамежку часу $t = 4$ с. Тармазны шлях аўтамабіля $s = 32$ м. Вызначце сярэднюю скорасць руху аўтамабіля пры тармажэнні.

2. У час бегу на марафонскую дыстанцыю $s = 42,195$ км вынікам экстракласа з'яўляецца час $t = 2$ г 10 мін. Вызначце сярэднюю скорасць бегуна.

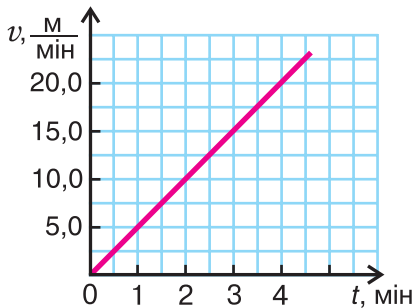
3. Яблык упаў з вышаты $h = 2,2$ м за час $t = 0,67$ с. Ці была скорасць падзення яблыка пастаяннай? Чаму роўна яе сярэдняе значэнне?

4. Карыстаючыся данымі, прыведзенымі на графіку (мал. 27), апішыце рух матацыкліста.



Мал. 27

5. Рухаючыся па маршруце, група турыстаў прайшла шлях $s_1 = 4$ км за прамежак часу $t_1 = 0,8$ г, затым на працягу $t_2 = 0,7$ г адпачывала. Шлях $s_2 = 2$ км, што застаўся, яна прайшла за прамежак часу $t_3 = 0,5$ г. Вызначце сярэднюю скорасць руху групы на ўсім маршруце.



Мал. 28

6. Графік скорасці руху шарыка па нахіленым жолабе прадстаўлены на малюнку 28. Знайдзіце сярэднюю скорасць руху шарыка за прамежак часу $t = 4$ мін.

7. Турыст набліжаецца да будынка Нацыянальнай бібліятэкі на адлегласць $s = 120$ м за час $t = 2,0$ мін.



Мал. 29



Мал. 30

З якой сярэдняй скорасцю адносна турыста і ў якім напрамку «рухаецца» будынак Нацыянальнай бібліятэкі (мал. 29)?



8. Шлях $s = 1,8$ км ад дома да парку спартсмен прабегае са скорасцю $v_1 = 4,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а шлях назад прайшоў хуткім крокам са скорасцю $v_2 = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вызначце сярэднюю скорасць руху спартсмена. Знайдзіце другое рашэнне, у якім не спатрэбілася б першае данае ($s = 1,8$ км).

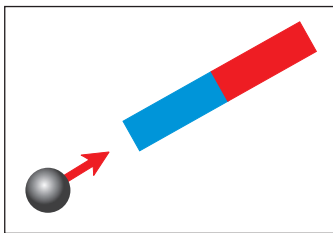


9. Карыстаючыся графікам скорасці (гл. мал. 27), вызначце шлях і сярэднюю скорасць руху матацыкліста.

10. Адлегласць да гарадоў Рэспублікі Беларусь адлічваюць ад спецыяльнага каменя, які знаходзіцца на Кастрычніцкай плошчы ў горадзе Мінску (мал. 30). Вызначце, у колькі прыедзе ў горад Гродна турыст, які выехаў з Мінска з Кастрычніцкай плошчы ў 12.00 г, калі ён едзе з сярэдняй скорасцю $\langle v \rangle = 60 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Адлегласць да горада Гродна $s = 270$ км.

§ 6. Чаму змяняецца скорасць руху цела. Інерцыя

Раўнамерны прамалінейны рух, г. зн. рух з пастаяннай скорасцю — гэта толькі мадэль рэальнага руху. Усякі рух (ад руху велізарных планет да нябачных воку малекул) часцей за ўсё адбываецца са скорасцю, якая змяняецца. Што з'яўляецца прычынай змянення скорасці?



Мал. 31

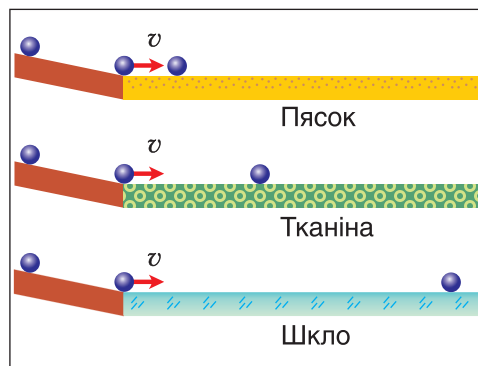
Для адказу на пытанне прааналізуем вынікі доследаў. На сталё ляжыць стальны шарык. Ён знаходзіцца ў стане спакою (адносна стала). Каб прымусіць шарык рухацца, трэба, напрыклад, штурхнуць яго рукой або наблізіць да яго магніт (мал. 31). У абодвух выпадках на шарык дзейнічаюць

іншыя целы: рука, магніт. Гэта з’яўляецца прычынай змянення скорасці шарыка. Але як доўга будзе рухацца шарык пасля штуршка? Дослед паказвае, што скорасць руху шарыка запавольваецца і праз некаторы час яго рух спыняецца. Чаму спыняецца рух?

Старажытнагрэчаскі філосаф Арыстоцель (IV ст. да н. э.) растлумачыў бы гэта тым, што толькі спакой — натуральны стан цела, а рух — гэта вымушаны стан. Цела імкнецца да свайго натуральнага стану, таму, калі не падтрымліваць рух, ён спыняецца. А мы з вамі можам пагадзіцца з Арыстоцелем?

Разгледзім такі дослед. Тры аднолькавыя шарыкі адначасова скочваюцца з аднолькавай вышыні (мал. 32). Дарожкі, па якіх рухаюцца шарыкі, адрозніваюцца тым, што першая з іх пасыпана пяском, другая пакрыта тканінай, а трэцяя — шклом. Дослед паказвае, што рух па трэцяй дарожцы працягваецца даўжэй. Гэта адбываецца таму, што тут трэнне найменшае. Значыць, прычынай спынення руху шарыка з’яўляецца трэнне паміж паверхнямі шарыка і стала і, зразумела, супраціўленне паветра. А калі б мы змаглі зусім ліквідаваць гэтыя прычыны, то шарык рухаўся б з пастаяннай скорасцю як заўгодна доўга.

Значыць, рух цела пры адсутнасці дзеяння на яго іншых цел, таксама як і спакой, — яго натуральны стан. Да такога вываду



Мал. 32



Мал. 33



Мал. 34

прыблізна праз 2000 гадоў пасля Арыстоцеля прыйшоў прафесар Пізанскага ўніверсітэта Галілео Галілей.

У вас, напэўна, узнікла пачуццё незадаволенасці. Тое, што цела бясконца доўга застаецца ў спакоі, калі няма дзеяння іншых цел, — зусім зразумела. Але як жа цела можа само па сабе рухацца, калі ў штодзённым жыцці мы бачым, што цела рухаецца толькі тады, калі на яго дзейнічае іншае цела? Санкі трэба цягнуць за вяроўку (мал. 33), лодка плыве пад уздзеяннем вёсел (мал. 34). А ці патрэбны былі б вяроўка, вёслы, калі б не было супраціўлення руху? Калі б вада не аказвала супраціўлення руху, лодка пасля штуршка рухалася б бясконца доўга з пастаяннай скорасцю.

Геній Галілея ў тым, што ён змог уявіць сабе ідэалізаваны свет (у нашых прыкладах — свет без трэння) і прыйсці да вельмі важных вывадаў аб нашым рэальным свеце — вывадаў, якія змянілі погляд на прычыну руху.

Такім чынам, калі цела знаходзіцца ў стане спакою або ў стане руху, то яно імкнецца захаваць гэты стан (не змяняць скорасць), пакуль на яго не будуць дзейнічаць іншыя целы.

Уласцівасць цела захоўваць стан спакою або раўнамернага прамалінейнага руху (захоўваць сваю скорасць нязменнай) пры адсутнасці дзеяння на яго іншых цел называецца інерцыяй.

Памылка Арыстоцеля ў тым, што ён верыў у інерцыю спакою, але не разумеў, што цэлам у той жа ступені ўласціва інерцыя руху.



Мал. 35

З інерцыяй нам даводзіцца сутыкацца пастаянна.

Пры рэзкім тармажэнні аўтобуса пасажыры нахільваюцца ўперад, паколькі працягваюць рухацца па інерцыі. Пры рэзкім разгоне аўтобуса яны адхіляюцца назад. Чаму? А ці можа аўтамабіль спыніцца імгненна? Не! Якімі б моцнымі ні былі тармазы, інерцыя перашкаджае імгненнаму тармажэнню. Менавіта з-за інерцыі тармажны шлях аўтамабіля тым большы, чым вышэйшая скорасць яго руху. Мы ўпэўнены, што, памятаючы пра інерцыю, вы не будзеце перабягаць

вуліцу перад транспартам, які рухаецца, і навучыце сваіх малодшых братоў і сясцёр не рабіць гэтага. А колькі непрыемнасцей з-за інерцыі здараецца, пакуль мы вучымся катацца на каньках!

Інерцыя можа прыносіць чалавеку не толькі непрыемнасці, але і велізарную карысць. У вадзяных, паравых турбінах і ветраных рухавіках (мал. 35) выкарыстоўваецца інерцыя руху вады, пары, ветру. Інерцыя адыгрывае карысную ролю пры прымяненні ўдару: ад выбівання пылу да насаджвання на ручку малатка. Касманаўт дзякуючы інерцыі можа выйсці з карабля ў адкрыты космас (мал. 36) і не «адстаць» ад карабля.



Мал. 36

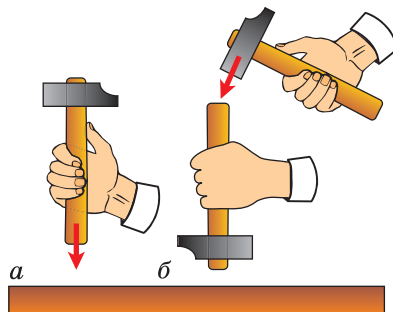
Галоўныя вывады

1. Калі на цела не дзейнічаюць іншыя целы, то яно або знаходзіцца ў спакоі, або рухаецца раўнамерна і прамалінейна (па інерцыі).

2. Змяніць стан спакою або руху цела можна толькі ўздзеяннем на яго іншага цела або цел.

Кантрольныя пытанні

1. Што з'яўляецца прычынай змянення скорасці цела?
2. Што называецца інерцыяй?
3. Што агульнага і рознага ў двух спосабах насаджвання на ручку малатка, паказаных на малюнку 37, а, б?
4. Прымяненне рамянёў бяспекі зніжае смяротныя зыходы пры аўтакатастрофах на 85 %. Як гэта растлумачыць, зыходзячы са з'явы інерцыі?



Мал. 37



5. Чаму чалавек, які бяжыць, спатыкнуўшыся, падае «тварам уперад», а ў галалёдзіцу ён, ідучы павольна, падае, паслізнуўшыся, на спіну?

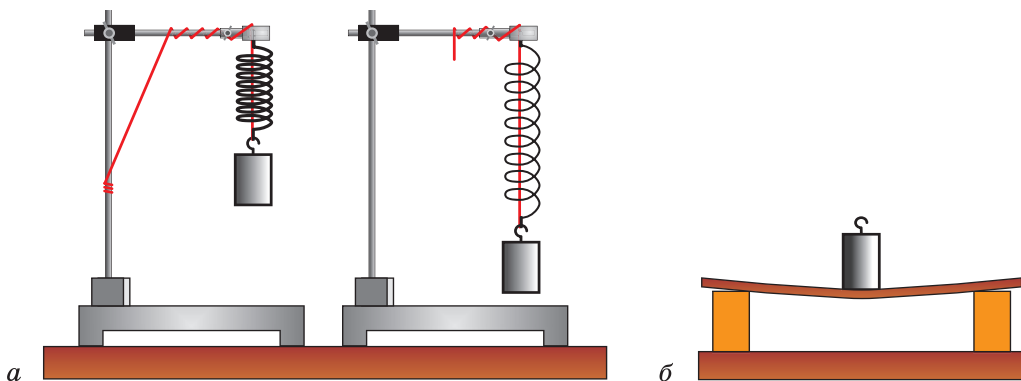
§ 7. Сіла

З папярэдняга параграфу вы даведаліся, што змяніць скорасць руху цела можна ўздзеяннем на яго другога цела. Чым большае гэта ўздзеянне, тым больш змяняецца скорасць. Напружваючы мышцы рук, вы прыводзіце ў рух, напрыклад, нагружаную каляску на дачным участку або агародзе, г. зн. павялічваеце яе скорасць. Ваш старэйшы брат ці бацька могуць мацней уздзейнічаць на каляску і змяніць скорасць яе руху больш.

З дапамогай якой фізічнай велічыні можна колькасна вызначыць, наколькі моцна ўздзейнічае адно цела на другое (напрыклад, чалавек на каляску)? Такой велічынёй з'яўляецца *сіла*. **Сіла — колькасная мера ўздзеяння аднаго цела на другое.**

У прыведзеным прыкладзе вынікам уздзеяння з'яўляецца змяненне скорасці, значыць, **сіла — прычына змянення скорасці руху цела.**

Аднак дзеянне аднаго цела на другое прыводзіць не толькі да змянення скорасці. Напрыклад, будзем дзейнічаць на спружыну гірай (падвесім яе да спружыны). Дзеянне гіры на спружыну выклікае

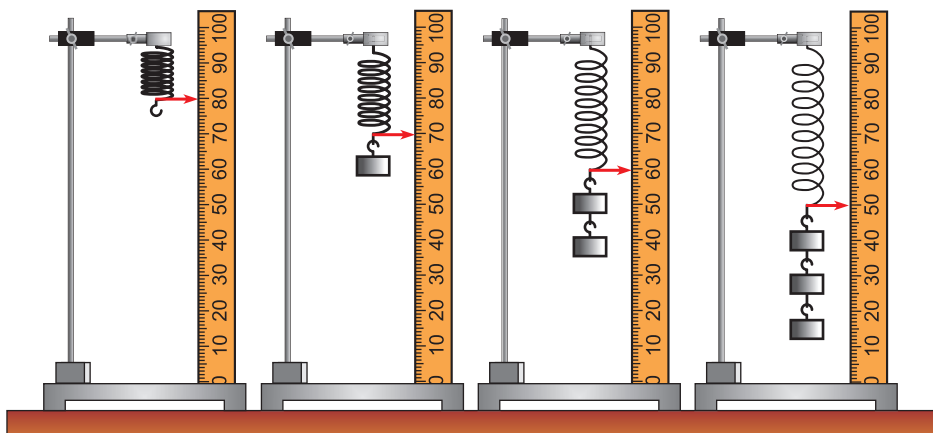


Мал. 38

яе падаўжэнне (мал. 38, а). Гіра, пастаўленая на тонкую дошку (мал. 38, б), прагінае яе.

Сціснуўшы пальцамі вучнёўскую гумку, вы змяняеце яе форму. У гэтых выпадках дзеянне аднаго цела на другое, г. зн. сіла, выклікае змяненне памераў або формы цела.

Змяненне памераў або формы цела называецца дэфармацыяй. Значыць, сіла з’яўляецца не толькі прычынай змянення скорасці, але і прычынай дэфармацыі цела. Чым большая сіла, тым большая дэфармацыя. Сапраўды, падзейнічайце на sprужыну больш цяжкай гірай, г. зн. большай сілай, і расцяжэнне sprужыны будзе большае (мал. 39).



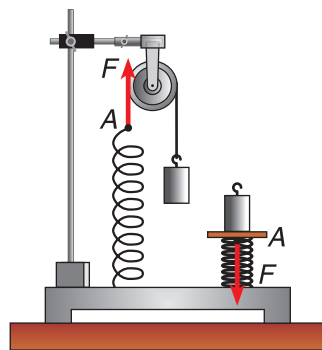
Мал. 39

У штодзённым жыцці слова «сіла» часта ўжываецца ў іншым сэнсе, напрыклад: сіла агню, сіла духу, сіла волі і г. д. У фізіцы слова «сіла» ўжываецца толькі ў сэнсе колькаснай меры такога ўздзеяння, якое або змяняе скорасць руху цела, або дэфармуе яго, або выклікае тое і другое адначасова. Дзеянне нават самай малой сілы абавязкова прывядзе да таго ці іншага выніку. Ад націскання на стол пальцам сталёніца непазбежна прагнецца, хаця гэта не заўсёды можна заўважыць.

Сіла не можа існаваць сама па сабе. Калі мы кажам, што на цела дзейнічае сіла, гэта азначае толькі тое, што на цела дзейнічае іншае цела.

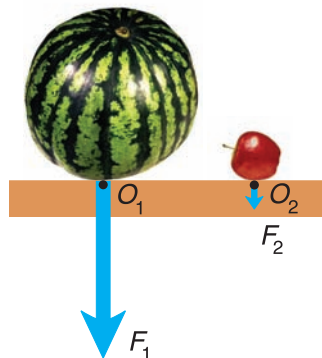
Звычайна сілу абазначаюць літарай F і рысуюць у выглядзе стрэлкі. Напрамак стрэлкі паказвае напрамак дзеяння сілы. Пачатак стрэлкі супадае з пунктам прыкладання сілы. Абсалютны лік, які выражае даўжыню стрэлкі, называюць модулем сілы.

Такім чынам, **сіла характарызуецца модулем, напрамкам і пунктам прыкладання**. Напрыклад, на аднолькавыя спружыны дзейнічаюць дзве аднолькавыя гіры, як паказана на малюнку 40. Адна спружына расцягваецца пад дзеяннем гіры, другая — сціскаецца, хаця модулі сіл, што дзейнічаюць на спружыны, аднолькавыя, але напрамкі ў сіл розныя.



Мал. 40

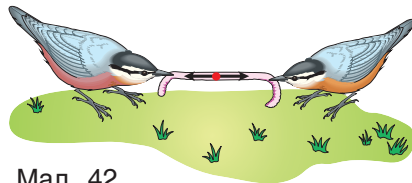
На малюнку 41 паказаны два целы (кавун і яблык), якія дзейнічаюць на стол з аднолькава накіраванымі, але рознымі па модулі сіламі. Гэтыя сілы прыкладзены да сталёніцы ў пунктах O_1 і O_2 і накіраваны вертыкальна ўніз. Модуль сілы F_1 большы за модуль сілы F_2 .



Мал. 41

Часцей за ўсё на цела дзейнічае не адна, а адразу дзве (ці болей) сілы, прычым часам процілеглага напрамку.

Як будзе змяняцца скорасць руху цела ў гэтым выпадку? Калі модулі процілегла накіраваных сіл роўныя, то, як і ў матэматыцы, пры складанні роўных па модулі, але процілеглых па знаку лікаў мы атрымаем у выніку нуль. Такія сілы мы будзем называць *кампенсуючымі* адна адну сіламі. У гэтым выпадку, як і пры адсутнасці сіл, скорасць цела змяняцца не будзе. На малюнку 42 сілы, прыкладзеныя да аднаго і таго ж цела (чарвяка), кампенсуюць адна адну і цела знаходзіцца ў стане спакою.



Мал. 42

Галоўныя вывады

1. Сіла з'яўляецца колькаснай мерай уздзеяння аднаго цела на другое.
2. Сіла характарызуецца модулем, напрамкам і пунктам прыкладання.
3. Сіла з'яўляецца прычынай змянення скорасці руху цела і яго дэфармацыі.

Кантрольныя пытанні

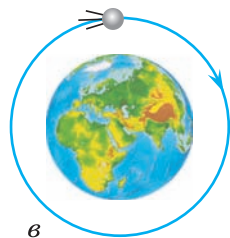
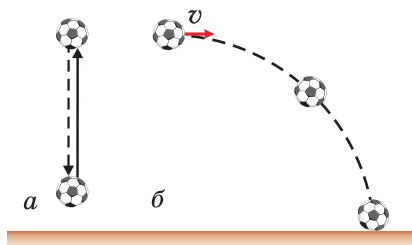
1. Да якіх вынікаў прыводзіць дзеянне на цела другіх цел?
2. Як колькасна выразіць дзеянне аднаго цела на другое?
3. Чым характарызуецца сіла?
4. Футбаліст б'е па мячы. Якія вынікі дзеяння сілы ўдару нагі футбаліста?

§ 8. З'ява прыцяжэння. Сіла цяжару



Мал. 43

Паглядзіце на глобус (мал. 43). Ён уяўляе сабой мадэль Зямлі. Зямля мае форму, блізкую да формы шара. Нам гэта здаецца натуральным. Але як былі здзіўлены людзі, упершыню пачуўшы аб гэтым! Яны ніяк не маглі дапусціць думкі аб тым, што людзі, якія жывуць на процілеглым баку Зямлі, утрымліваюцца на паверхні і не падаюць у бездань.



Мал. 44

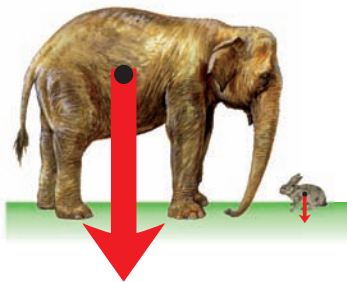
Чаму людзі аднолькава ўстойлівыя ў любым месцы шарападобнай Зямлі? Таму, што Зямля прыцягвае да сябе ўсе целы.

Калі б Зямля не валодала ўласцівасцю прыцяжэння, кінутыя гарызантальна або ўверх целы, рухаючыся па інерцыі, ніколі б не вярнуліся на Зямлю. Тым не менш, мяч, кінуты вертыкальна ўверх, вяртаецца назад (мал. 44, а), падаюць уніз яблыкі з дрэва, кроплі дажджу. Траекторыя мяча, кінутага гарызантальна, па меры руху скрыўляецца (мал. 44, б). Спадарожнік рухаецца вакол Зямлі па кругавой арбіце (мал. 44, в). Скрыўленне траекторыі мяча, спадарожніка ёсць таксама вынік прыцяжэння гэтых цел да Зямлі.

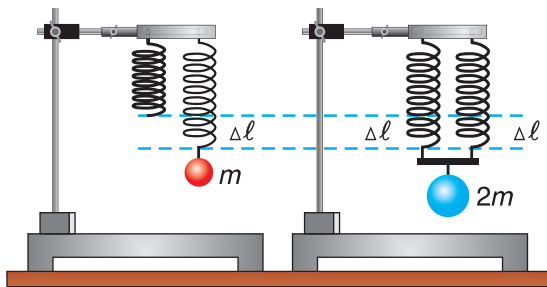
Сіла, з якой Зямля прыцягвае да сябе цела, называецца сілай цяжару.

Ці залежыць сіла цяжару ад масы цела? Вядома, так! Мы ж добра ведаем з жыццёвага вопыту, што чым большая маса налітай у вядро вады, тым цяжэй утрымліваць вядро. Слана (мал. 45) Зямля прыцягвае значна мацней, чым зайца.

Правядзём такі дослед. Да адной спружыны (мал. 46) прымацуем шар масай m , а да сістэмы з дзвюх такіх спружын — шар масай $2m$.



Мал. 45



Мал. 46

Кожны з шароў прыцягвае Зямля з сілай цяжару, у выніку чаго шары расцягваюць спружыны. З малюнка 46 бачна, што расцяжэнне Δl усіх трох спружын аднолькавае. Але шар з масай $2m$ расцягвае дзве спружыны. Значыць, і сіла, з якой яго прыцягвае Зямля, у 2 разы большая. А калі маса шара будзе ў 3, 4, 5 ... разоў большай? Значыць, і сіла цяжару, якая дзейнічае на яго, будзе ў 3, 4, 5 ... разоў большай.

Цяпер кожны з вас можа сам зрабіць вывад: **у колькі разоў павялічваецца маса цела, у столькі разоў узрастае сіла цяжару $F_{ц}$** . Інакш кажучы, сіла цяжару, што дзейнічае на цела, прама прапарцыянальна масе цела:

$$F_{ц} = gm,$$

гдзе g — каэфіцыент прапарцыянальнасці (аб яго найменні, лікавым значэнні і фізічным сэнсе мы можам гаварыць толькі пасля таго, як увядзём адзінку сілы). Адзначым, што каэфіцыент g мае практычна пастаяннае значэнне, у якіх бы пунктах каля паверхні Зямлі не знаходзілася цела.



Мал. 47

Сіла цяжару накіравана вертыкальна ўніз (мал. 47) і прыкладзена да цела.

Заканамерна паставіць пытанне: «А ці валодаюць іншыя планеты ўласцівасцю прыцягваць да сябе целы, як Зямля?»

Геніяльны англійскі фізік і матэматык Ісаак Ньютан, зыходзячы з законаў руху планет, прыйшоў да вываду, што прыцяжэнне ўласціва не толькі Зямлі, але і ўсім іншым планетам і наогул любому целу, якое мае масу. Значыць, яно ўласціва ўсім целам Сусвету. Таму з'ява ўзаемнага прыцяжэння цел названа *сусветным прыцяжэннем*.

Сіла цяжару залежыць ад масы не толькі таго цела, якое прыцягваецца, але і ад масы таго цела, што прыцягвае (Зямля, Месяц і г. д.).

Усе нябесныя целы прыцягваюць да сябе іншыя целы. Аднак паколькі іх масы і памеры розныя, то рознай будзе і сіла прыцяжэння, якую яны ствараюць.



Маса Зямлі вельмі вялікая

$$m \approx 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,\text{T} = 6 \cdot 10^{21}\,\text{T},$$

таму яе прыцяжэнне такое вялікае, а целы невялікай масы прыцягваюць вельмі слаба. Зямля прыцягвае не толькі целы, якія знаходзяцца на яе паверхні, але і тыя, што аддалены ад яе (штучныя спадарожнікі, Месяц), праўда, па меры аддалення сіла прыцяжэння памяншаецца, але захоўваецца прамая прапарцыянальная залежнасць сілы цяжару ад масы цела.

Яшчэ больш моцнае прыцяжэнне Сонца, паколькі яго маса прыкладна ў 300 000 разоў большая за масу Зямлі. Менавіта таму Зямля і іншыя планеты рухаюцца вакол Сонца.

Важна зразумець, што маса цела, перанесенага на іншую планету, не зме-
ніцца, паколькі яна з'яўляецца мерай інертнасці цела, а гэта ўласцівасць не за-
лежыць ад таго, моцна або слаба дадзеная планета прыцягвае цела!

Галоўныя вывады

1. Усе целы ў Сусвеце валодаюць уласцівасцю прыцягваць да сябе іншыя целы.

2. Сіла, з якої Зямля прыцягвае да сябе цела, называецца сілай цяжару.

3. Сіла цяжару, якая дзейнічае на цела, прама прапарцыянальна яго масе.

Кантрольныя пытанні

1. Якую сілу называюць сілай цяжару?
2. Якія з'явы тлумачацца дзеяннем на цела сілы цяжару?
3. Як накіравана сіла цяжару?
4. Ад чаго залежыць значэнне сілы цяжару?

Прыклад рашэння задачы

Шчыльнасць жалезнага бруска ў k разоў большая за шчыльнасць драўлянага. Аб'ём жалезнага бруска ў n разоў меншы за аб'ём драўлянага. У колькі разоў адрозніваюцца сілы цяжару, што дзейнічаюць на брускі?

Дадзена:

$$\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{д}}} = k$$

$$\frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{ж}}} = n$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

Адказ: $\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{k}{n}$.

Рашэнне

Сілы цяжару, якія дзейнічаюць на брускі, роўны:

$$F_{\text{ж}} = g m_{\text{ж}}; F_{\text{д}} = g m_{\text{д}}.$$

Масы брускоў роўны: $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}}; m_{\text{д}} = \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}.$

Адносіна сіл:

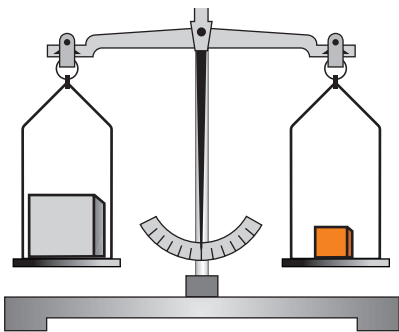
$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{g \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}}}{g \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}} = \frac{k}{n}.$$

Практыкаванне 3

1. У колькі разоў адрозніваюцца сілы цяжару, што дзейнічаюць на цэлы масай $m_1 = 2$ кг і $m_2 = 4$ кг?

2. У колькі разоў сіла цяжару, якая дзейнічае на 1 л вады, адрозніваецца ад сілы цяжару, што дзейнічае на 1 л ртуці?

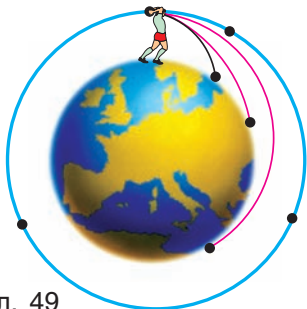
3. На вагах (мал. 48) ураўнаважаны два аднародныя кубікі. Па-раўнайце: а) сілы цяжару, што дзейнічаюць на кубікі; б) шчыльнасці рэчываў, з якіх выраблены кубікі.



Мал. 48

4. Сілы цяжару, што дзейнічаюць на дзве чыгунныя дэталі, адрозніваюцца ў 4 разы. У колькі разоў адрозніваюцца іх аб'ёмы? Масы?

5. Шчыльнасць рэчыва і аб'ём адной дэталі ў k разоў большыя за шчыльнасць і аб'ём другой. У колькі разоў адрозніваюцца сілы цяжару, што дзейнічаюць на іх?



Мал. 49



6. У адной з прац І. Ньютана прыведзены разважанні аб руху кідаемых цел. Сутнасць гэтых разважанняў адлюстравана на малюнку 49. Паспрабуйце самастойна ўзнавіць сэнс разважанняў І. Ньютана.

§ 9. Сіла пругкасці

На гарызантальным сталё ляжыць шар. Як і на ўсякае цела, на яго дзейнічае сіла цяжару (мал. 50, а). Але чаму ён не падае ўніз? Гэтаму перашкаджае стол. У чым выяўляецца дзеянне стала на шар?

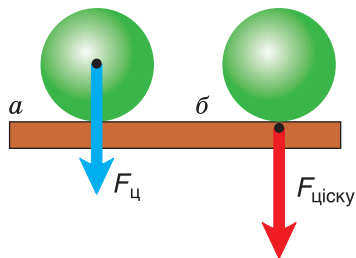
З § 7 мы ведаем, што прыкладзеная да цела сіла (нават вельмі вялікая) не выклікае змянення скорасці руху цела, калі яна скампенсавана роўнай па модулі процілегла накіраванай сілай, прыкладзенай да яго. Як жа ўзнікае гэта сіла ў прыведзеным прыкладзе? Шар, прыцягваючыся Зямлёй, цісне на сталёніцу. Сіла ціску $F_{\text{ціску}}$ прыкладзена да сталёніцы і накіравана ўніз (мал. 50, б). Дзейнічаючы на сталёніцу, гэта сіла прагінае, г. зн. дэфармуе, яе, хаця гэта дэфармацыя і не прыметная для вока.

Вас не павінна здзіўляць сцверджанне, што любая, нават нязначная, сіла ціску (напрыклад, сіла ціску мухі, якая села на стол) выклікае дэфармацыю. Дэфармацыі паверхні стала, на якую цісне гіра, не відаць. Але паспрабуйце пакласці пад гіру пракладку з паралону, і вы заўважыце прагін пракладкі, г. зн. дэфармацыя стане відавочнай (мал. 51).

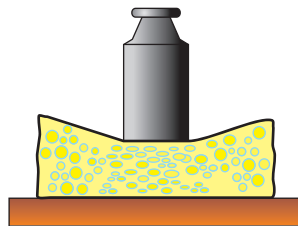
Дэфармаваная апора, імкнучыся распраміцца, дзейнічае на шар з сілай, накіраванай уверх (мал. 52), якая называецца **сілай пругкасці**.

Менавіта сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$ і кампенсуе дзеянне сілы цяжару $F_{\text{ц}}$.

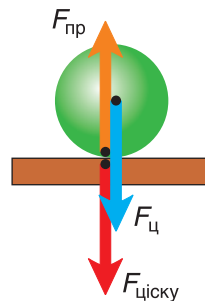
Правядзём яшчэ дослед. Падвесім шар да спружыны, замацаванай на штатыве.



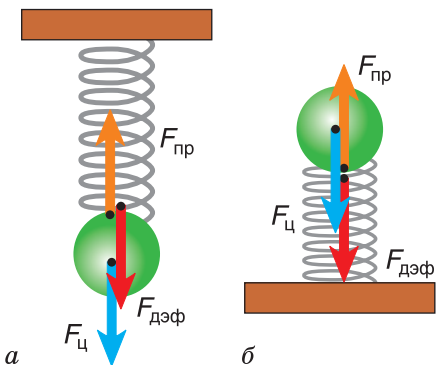
Мал. 50



Мал. 51



Мал. 52



Мал. 53

Шар, прыцягваючыся да Зямлі (мал. 53, а), расцягвае (дэфармуе) спружыну. Дэфармуючая сіла $F_{\text{дэф}}$ прыкладзена да спружыны і накіравана ўніз. Але расцяжэнне спружыны не працягваецца неабмежавана. Што ж перашкаджае гэтаму расцяжэнню, а значыць, і руху падвешанага шара?

Як і ў выпадку з ляжачым шарам, — сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$. Яна прыкладзена да вісячага шара, накіравана

процілегла дэфармуючай сіле і роўная ёй па лікавым значэнні. А цяпер змесцім шар на спружыну зверху (мал. 53, б). Спружына сціснецца пад дзеяннем сілы ціску $F_{\text{ціску}} = F_{\text{дэф}}$, прыкладзенай да яе. Перашкаджаць руху шара будзе сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$, з якой спружына дзейнічае на шар.

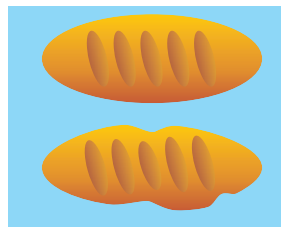
Сіла, якая дзейнічае на цела з боку дэфармаванай апоры або падвеса, называецца сілай пругкасці.

Паспрабуйце самастойна разабрацца ў сілах, што дзейнічаюць на вас і канапу, калі вы сядзіце на ёй. Як праяўляецца тут сіла пругкасці? Да якога цела яна прыкладзена і як накіравана? А якая сіла процілеглая ёй?

Вы заўважылі заканамернасць. Сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$ прыкладзена да цела, якое выклікала дэфармацыю апоры ці падвеса. Яна процілеглая па напрамку і лікава роўная дэфармуючай сіле $F_{\text{дэф}}$. Але варта толькі зняць дэфармуючую сілу, як расцяжэнне, сцісканне або прагін знікаюць, г. зн. дэфармаванае цела (спружына, стол) аднаўляюць свае першапачатковыя памеры і форму.

Часам пасля дзеяння вялікай дэфармуючай сілы цела не вяртаецца да першапачатковай формы. Напрыклад, купляючы батон у краме, вы вызначаеце яго свежасць, дэфармуючы батон спецыяльнай лыжкай. Пры дзеянні на батон невялікай сілай ён пасля спынення ўздзеяння аднаўляе форму, але калі вы пера-

стараецца, націскаючы лыжкай, батон так і не змога пазбавіцца свайго непрывабнага дэфармаванага выгляду (мал. 54).



Мал. 54

Паколькі сіла пругкасці ўзнікае ў адказ на ўздзеянне (апора, падвес «рэагуюць» на ўздзеянне), то сілу пругкасці часта называюць яшчэ *сілай рэакцыі*.

Галоўныя вывады

1. Сіла пругкасці (сіла рэакцыі) узнікае ў адказ на дзеянне дэфармуючай сілы.
2. Сіла пругкасці прыкладзена да цела, якое выклікала дэфармацыю апоры або падвеса.
3. Сіла пругкасці процілеглая дэфармуючай сіле, але роўная ёй па модулі.

Кантрольныя пытанні

1. У якіх выпадках узнікае сіла пругкасці?
2. Як накіравана сіла пругкасці?
3. Якой сіле процідзейнічае сіла пругкасці?
4. Да чаго прыкладзена сіла пругкасці пры расцяжэнні гарызантальнай спружыны дзвюма рукамі за яе канцы?

Практыкаванне 4

1. Ці паралельны траекторыі двух цел, адно з якіх падае на Паўночным полюсе, другое — на экватары?

2. Кубак стаіць на сталe (мал. 55). Намаляўце схематычна ўсе сілы, якія дзейнічаюць на кубак. Якая з іх з'яўляецца сілай пругкасці?

3. Якія сілы дзейнічаюць на святільню (мал. 56)? Намаляўце іх і вызначце, узаемадзеянне якіх цел яны выражаюць.



Мал. 55

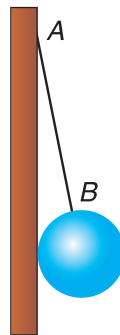


Мал. 56

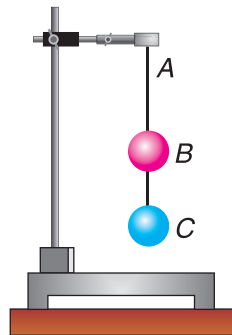
4. Шар, падвешаны на нiтцы АВ, абапiраецца на вертыкальную сцяну (мал. 57). Намалуйце схематычна ўсе сілы, прыкладзеныя да шара.



5. Два роўныя шары падвешаны на нiтках АВ і ВС (мал. 58). Што можна сказаць пра сілы пругкасці, якія ўзнікаюць у нiтках? Пакажыце іх на малюнку ў сшытку.



Мал. 57



Мал. 58

§ 10. Вага цела

Вы ўжо ведаеце, што пры ўзаемадзеянні цел на кожнае з іх дзейнічае з боку другога цела сіла. Абмяжуемся разглядаць дзеянне адно на адно цела і яго гарызантальнай апоры або цела і яго вертыкальнага падвеса.

На малюнку 59 паказаны розныя целы. Кожнае з гэтых цел, прыцягваючыся да Зямлі, дзейнічае на апору або падвес з сілай, якая вам добра вядома з папярэдняга параграфу. Гэта — сіла ціску



Мал. 59

на апору або сіла расцяжэння (сціскання) падвеса (гл. мал. 52, 53). Інакш гэту сілу называюць *вагой цела*.

Чаму цела дзейнічае на апору або падвес? Таму, што яго прыцягвае Зямля. Нерухомыя апора або падвес, не дазваляючы цела падаць, знаходзяцца пад уздзеяннем сілы (гэта і ёсць вага), роўнай сіле цяжару. А цяпер дадзім азначэнне вагі.

Вага — гэта сіла, з якой цела ў выніку прыцяжэння Зямлі дзейнічае на апору або падвес.

Абзначым вагу літарай P . Цяпер вернемся да малюнка 59 і вызначым вагу кожнага цела. Вага мяча прыкладзена да апоры (стала), накіравана ўніз і з'яўляецца не чым іншым, як ужо вядомай вам сілай ціску. Вага чалавека прыкладзена да падлогі ў месцах судакранання яго ног з падлогай і роўна суме дзвюх сіл: $P = P_1 + P_2$. Вага хлопчыка прыкладзена да лесвіцы ў пунктах дакранання яго рук і ног і накіравана ўніз. Яе модуль вызначаецца сумай чатырох сіл:

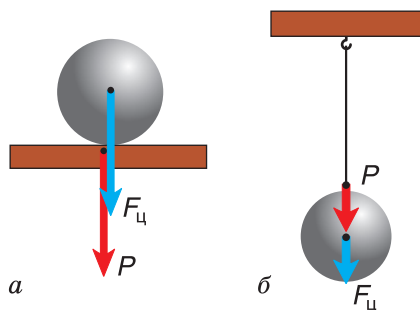
$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4.$$

Пакажыце схематычна вагу ўсіх астатніх цел, што адлюстраваны на малюнку 59.

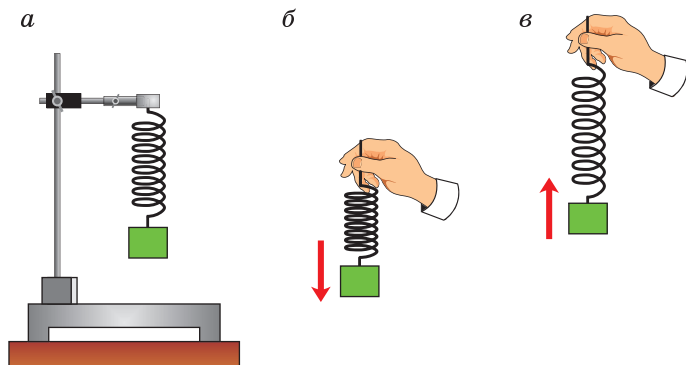
Вам вядома, што сіла цяжару, якая дзейнічае на цела, на іншых планетах можа быць як большая за сілу цяжару на Зямлі, так і меншая. Значыць, і вага цела на гэтых планетах будзе рознай.

А цяпер яшчэ раз параўнаем сілу цяжару і вагу цела. У гэтых сіл ёсць агульнае: яны выкліканы прыцяжэннем Зямлі. Гэтыя сілы вельмі часта, падкрэсліваем — часта, але не заўсёды, лікава роўны адна адной. Але ў сілы цяжару і вагі ёсць адrozenні.

Па-першае, яны прыкладзены да розных цел (мал. 60, а, б): сіла цяжару — да цела (шара), а вага — да апоры або падвеса (стала, ніткі), якія ўтрымліваюць цела ад падзення.



Мал. 60



Мал. 61

Па-другое, сіла цяжару ў дадзеным месцы Зямлі мае строга вызначанае значэнне $F_{\text{ц}} = gt$, а вага цела можа быць не толькі роўная, але большая ці меншая за гэта значэнне!

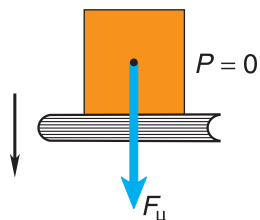
Правядзём дослед. Падвесім груз на спружыне (мал. 61, а).

Калі мы будзем раўнамерна падымаць і апускаць гэты груз, то падаўжэнне спружыны, а значыць, сіла пругкасці і вага грузу будуць заставацца пастаяннымі. Але калі мы нераўнамерна (з разгонам) апусцім (мал. 61, б) або паднімем (мал. 61, в) груз у вертыкальным напрамку, то будуць назірацца змяненні ў расцяжэнні спружыны, што сведчыць пра змяненне вагі цела.



Мал. 62

А ці можа цела наогул «страціць вагу»? Кожны з вас чуў і шмат разоў бачыў па тэлевізары, што касманаўты і ўсе целы ў касмічным караблі свабодна «лунаюць», не аказваючы дзеяння на апору або падвес, г. зн. іх вага $P = 0$. Гэты стан цела называецца *бязважкасцю* (мал. 62). А ці можна стварыць *бязважкасць*, знаходзячыся на Зямлі? Можна, і вельмі проста! Пусцім свабодна падаць груз разам са спружынай і паназіраем за спружынай у час гэтага падзення. Яна не расцягваецца, г. зн. вага грузу пры гэтым роўна нулю. Другі дослед: няхай свабодна падае кніга з грузам, што на ёй ляжыць (мал. 63). Як моцна цісне груз у час падзення на сваю апору — кнігу? Ніяк! Ды ён не можа на яе ціснуць, паколькі апора сама свабодна падае, «уцякаючы» ад грузу. Гэта і ёсць *бязважкасць*!



Мал. 63

Галоўныя вывады

1. Вага цела — сіла, якая прыкладзена да апоры або падвеса.
2. Вага цела, якое не рухаецца або рухаецца раўнамерна, лікава роўная сіле цяжару.
3. Вага цела, якое рухаецца нераўнамерна, можа змяняцца і быць большай або меншай за сілу цяжару ці нават роўнай нулю.

Кантрольныя пытанні

1. Што называюць вагой цела? Да чаго яна прыкладзена?
2. У чым адрозненне вагі цела ад сілы цяжару?
3. У якім выпадку вага цела роўна сіле цяжару, якая на яго дзейнічае?
4. Мабільны тэлефон ляжыць на сталё. Якія сілы дзейнічаюць на тэлефон? Да чаго прыкладзена вага тэлефона?
5. Ці былі вы ў стане бязважкасці? Аргументуйце свой адказ.

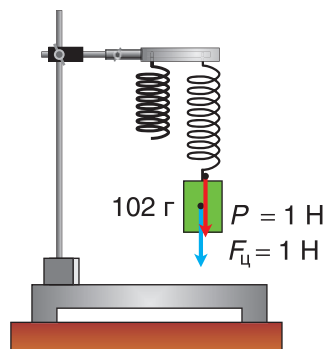


§ 11. Адзінка сілы

Успомніце, што сіла характарызуецца лікавым значэннем (модулем), напрамкам і пунктам прыкладання. Каб вызначыць лікавае значэнне сілы, трэба ўмець вымераць сілу, г. зн. параўнаць яе з іншай сілай, прынятай у якасці адзінкі вымярэння сілы. Што прынята за адзінку сілы?

Галоўны вынік дзеяння сілы — змяненне скорасці руху цела, якая сама па сабе ніколі не мяняецца. Зыходзячы з гэтага была абрана ў СІ **адзінка сілы — 1 ньютан (1 Н)**, названая ў гонар геніяльнага англійскага вучонага Ісаака Ньютана, на помніку якому невыпадкова напісана: «Роўнага яму па розуму не ведаў род чалавечы».

Але сіла можа не толькі змяніць скорасць, але і выклікаць дэфармацыю цела. Спружына расцягваецца (мал. 64), таму што



Мал. 64

на яе дзейнічае груз, які прыцягваецца Зямлёй. Якой масай павінен валодаць груз, каб сіла цяжару, якая на яго дзейнічае, была роўна 1 Н? Даследаванні італьянскага вучонага Галілеа Галілея паказалі, што з сілай $F = 1 \text{ Н}$ Зямля прыцягвае цэла масай $m = 102 \text{ г}$, або $m = 0,102 \text{ кг}$.

Вызначым цяпер значэнне каэфіцыента g , які ўваходзіць у формулу сілы цяжару $F = gm$. З формулы бачна, што $g = \frac{F}{m}$. Вы ўжо ведаеце, што на цэла масай 0,102 кг Зямля дзейнічае з сілай, прыкладна роўнай 1 Н, адсюль:

$$g = \frac{1 \text{ Н}}{0,102 \text{ кг}} \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

Такім чынам, пастаянны каэфіцыент g прыблізна роўны $9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Звярніце ўвагу на тое, што дадзенае значэнне каэфіцыента g характэрна толькі для Зямлі, ды і тут яно некалькі змяняецца ў залежнасці ад геаграфічнай шыраты мясцовасці і ад вышыні пад'ёму цэла над паверхняй Зямлі. З павелічэннем вышыні значэнне g памяншаецца.

Што ж датычыцца іншых нябесных цел, то для Месяца, напрыклад, гэты каэфіцыент у 6 разоў меншы, г. зн. $g_{\text{м}} \approx 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, для Юпітэра — $g_{\text{ю}} = 23 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, для Сонца — $g_{\text{с}} = 274 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, г. зн. амаль у 30 разоў большы, чым для Зямлі.



$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$P = F_{\text{ц}} \approx 5 \text{ Н}$$

Мал. 65

Значыць, калі маса цэла 1 кг, то сіла цяжару, што дзейнічае на яго, $F = gm = 9,8 \text{ Н}$. Тады і вага гэтага цэла (калі яно знаходзіцца ў спакоі або рухаецца раўнамерна) $P = 9,8 \text{ Н}$. Ні ў якім разе нельга прыраўноўваць вагу і масу, што, на жаль, часта сустракаецца ў быце. Гэта зусім розныя фізічныя велічыні, і адзінкі ў іх розныя. Маса вымяраецца ў кілаграмах, а вага — у ньютанах (мал. 65). Калі ваша маса $m = 50 \text{ кг}$, то ваша вага $P \approx 500 \text{ Н}$.

Галоўныя вывады

1. У СІ адзінкай сілы з'яўляецца 1 ньютан.
2. З сілай $F = 1 \text{ Н}$ Зямля прыцягвае цела масай $m = 0,102 \text{ кг}$.
3. Пастаянны каэфіцыент у формуле сілы цяжару $F_{\text{ц}} = gm$, з якой Зямля дзейнічае на цела, $g \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Кантрольныя пытанні

1. У якіх адзінках у СІ вымяраецца сіла?
2. Якой масай павінна валодаць цела, каб Зямля яго прыцягвала з сілай $F = 1 \text{ Н}$?
3. З якой сілай вас прыцягвае Зямля?

Прыклад рашэння задачы

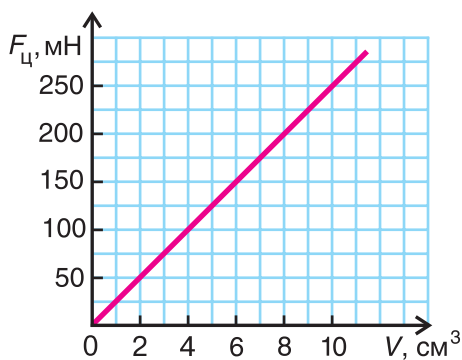
Залежнасць сілы цяжару, што дзейнічае на пясок у пясочным гадзінніку, ад яго аб'ёму паказана на малюнку 66. Вызначце шчыльнасць пяску. Каэфіцыент g прыміце роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Рашэнне

Шчыльнасць пяску $\rho = \frac{m}{V}$. Маса пяску $m = \frac{F_{\text{ц}}}{g}$. Сілу цяжару для дадзенага аб'ёму пяску, напрыклад $V = 4 \text{ см}^3 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, вызначым, выкарыстоўваючы даныя графіка: $F_{\text{ц}} = 100 \text{ мН} = 0,1 \text{ Н}$. Тады:

$$\rho = \frac{F_{\text{ц}}}{gV} = \frac{0,1 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

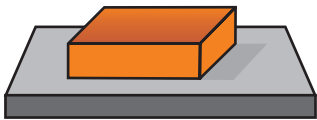
Адказ: $\rho = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Мал. 66

Практыкаванне 5

1. Якую вагу маюць яблык, кабачок і кавун, калі іх масы адпаведна роўны: $m_1 = 0,1 \text{ кг}$, $m_2 = 0,5 \text{ кг}$, $m_3 = 3 \text{ кг}$? У гэтай і наступнай задачах лічыце $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



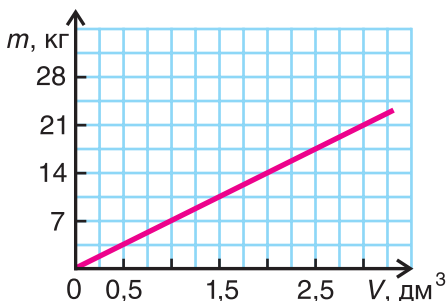
Мал. 67

цагліны аб'ёмам $V = 0,80 \text{ дм}^3$, якая ляжыць на дошцы (мал. 67). Намалюйце гэтыя сілы.



4. Якія з сіл — цяжару, ціску, пругкасці, вага — змяняюцца, калі вы знаходзіцеся ў кабінэ ліфта ў моманты: а) пачатку руху;

б) раўнамернага руху; в) тармажэння перад спыненнем?



Мал. 68

5. Залежнасць масы ад аб'ёму бруска паказана на графіку (мал. 68). З якога рэчыва выраблены брусок? Чаму роўна вага бруска, які знаходзіцца ў спакоі, і сіла цяжару, што дзейнічае на брусок, калі аб'ём яго $V = 1,0 \text{ дм}^3$?

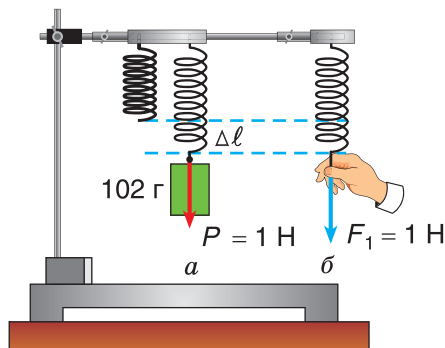
6. Легкавы аўтамабіль расходuje $V = 6,0 \text{ л}$ бензіну на $s_1 = 100 \text{ км}$ шляху. На колькі паменшыцца агульная вага аўтамабіля, калі ён праедзе шлях $s_2 = 200 \text{ км}$?

§ 12. Вымярэнне сілы. Дынамометр

Пасля таго як мы ўвялі адзінку сілы, можна пачынаць вымярэнні розных сіл. Але для гэтага трэба распрацаваць спосаб вымярэння і стварыць вымяральны прыбор. Мы ведаем, што сіла можа выклікаць дэфармацыю цела. Менавіта гэту ўласцівасць сілы зручна выкарыстоўваць для яе вымярэння.

З папярэдняга параграфа вядома, што калі да спружыны падвесіць гіру-эталон масай $m = 0,102 \text{ кг}$, то на спружыну будзе дзейнічаць вага гіры $P = 1 \text{ Н}$. Эталонная гіра сілай сваёй вагі $P = 1 \text{ Н}$ рас-

цягне пружыну на нейкую велічыню Δl (мал. 69, а). А калі гэту пружыну расцягнуць на тую самую велічыню, прыклаўшы сілу рукі F_1 (мал. 69, б), то і сіла F_1 будзе роўна 1 Н. Яна будзе дзейнічаць на пружыну дакладна гэтак жа, як і эталонная гіра. Цяпер зразумелы прынцып вымярэння сілы. Трэба параўнаць дэфармацыі пружыны пры дзеянні на яе эталоннай гіры і пры дзеянні невядомай сілы. Каб не карыстацца кожны раз эталонам, трэба праградуіраваць пружыну.

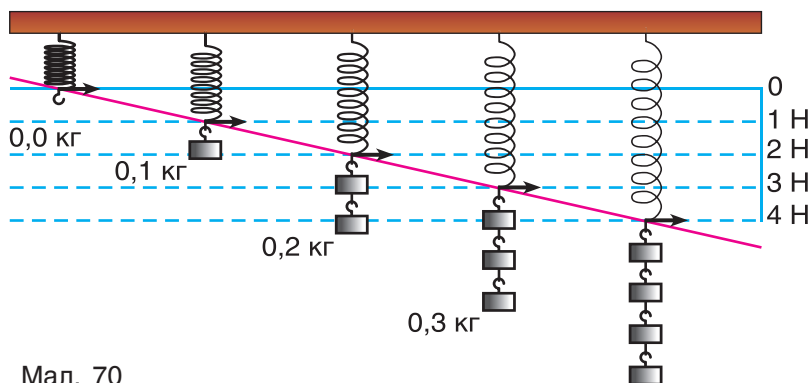


Мал. 69

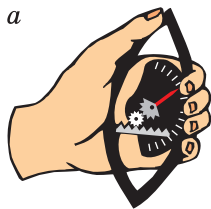
Падвешваючы да пружыны спачатку адну гіру-эталон, затым дзве, тры і г. д., адзначаем меткамі становішчы паказальніка (мал. 70), супраць якіх ставім значэнні 1 Н, 2 Н, 3 Н і г. д.

Спружына з паказальнікам і шкалай уяўляе сабой прыбор для вымярэння сіл — *дынамометр* (ад грэч. dynamis — сіла і metreo — мераю). Дынамометрам можна вымераць не толькі вагу (заўважце: не масу, а вагу) цела, але і любыя сілы.

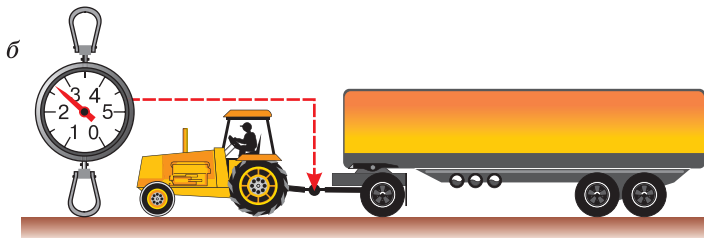
Дынамометры бываюць розных тыпаў і памераў у залежнасці ад таго, для вымярэння вялікіх ці малых сіл яны прызначаны. Для вымярэння мускульнай сілы рукі выкарыстоўваюць *дынамометр-сі-*



Мал. 70



Мал. 71



ламер (мал. 71, а). Вызначыць сілу цягі трактара дазваляе *цягавы дынамометр* (мал. 71, б). У лабараторных работах вы будзеце выкарыстоўваць дынамометр, паказаны на малюнку 72.

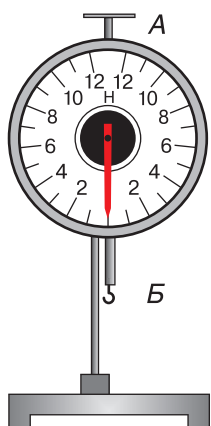
Кожны дзень з вамі спецыфічны дынамометр — вашы мышцы. З іх дапамогай вы вызначаеце трываласць ніткі, дроту, прыкідваеце вагу розных цел. Пры адпаведнай трэніроўцы вы зможаце лёгка вызначаць прыкладнае значэнне велічыні розных сіл.

Для правядзення розных даследаванняў зручна карыстацца *дынамометрам з рэчнай перадачай* (мал. 73), паколькі ён дазваляе вымераць як сілу ціску, якую ўтварае цела, што ляжыць на апоры А, так і расцягваючую сілу, прыкладзеную да падвеса Б.

Нескладана вырабіць дынамометр дома, скарыстаўшы прыдатную спружыну або гумавае жгут. Паспрабуйце гэта зрабіць, а праградуіраваць шкалу можна ў класе. Вы зможаце сканструяваны дынамометр прымяняць у быцц для ўзважванняў, што не патрабуюць высокай дакладнасці.



Мал. 72



Мал. 73

Галоўныя вывады

1. Вымярэнне сілы можа грунтавацца на яе здольнасці выклікаць дэфармацыю цела.
2. Для вымярэння сілы выкарыстоўваецца прыбор — дынамометр.
3. Прасцейшы дынамометр уяўляе сабой спружыну з паказальнікам і шкалай.

Кантрольныя пытанні

1. Якія ўласцівасці сілы выкарыстоўваюцца для яе вымярэння?
2. Якая будова прасцейшага прыбора для вымярэння сілы?
3. Які з дынамометраў, паказаных на малюнках 71—73, з'яўляецца найбольш дакладным?
4. Што ўяўляюць сабой бытавыя спружынныя вагі?
5. Ці можна, карыстаючыся спружынным дынамометрам, вымераць вагу цела на арбіце ў касмічным караблі?

Прыклад рашэння задачы

Поліэтыленавы пакет з соллю падвешаны да дынамометра. Вызначце сярэднюю шчыльнасць солі, калі аб'ём пакета з соллю $V = 0,80 \text{ дм}^3$, а паказанні дынамометра $F = 12 \text{ Н}$. Лічыце $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$V = 0,80 \text{ дм}^3$$

$$F = 12 \text{ Н}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$\langle \rho \rangle$ — ?

Рашэнне

Сярэдняя шчыльнасць $\langle \rho \rangle = \frac{m_c}{V_c}$. Паказанні дынамометра роўны вазе пакета з соллю:

$$F = P = gm, \text{ адкуль } m = \frac{F}{g}.$$

Масу поліэтыленавага пакета і яго аб'ём у параўнанні з масай і аб'ёмам солі можна не ўлічваць: $m_c = m$, $V_c = V$. Тады:

$$\langle \rho \rangle = \frac{m}{V} = \frac{F}{gV}; \quad \langle \rho \rangle = \frac{12 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,80 \text{ м}^3} = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\text{Адказ: } \langle \rho \rangle = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Практыкаванне 6

1. Якімі будуць паказанні дынамометра, калі да яго падвесіць гіру масай $m = 0,5 \text{ кг}$? Чаму роўна вага гіры? Каэфіцыент g у гэтай і наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

2. Вызначце вагу, сілу цяжару і масу ртуці, аб'ём якой $V = 5,0$ л.
3. Ці будуць у раўнавазе рычажныя вагі, на левай шалі якіх ляжыць гіра вагою $P = 1,0$ Н, а на правай — жалезная дэталі аб'ёмам $V = 14$ см³?

4. Ліст алюмінію плошчай $S = 10$ дм² мае вагу $P = 64,6$ Н. Вызначце таўшчыню ліста.

5. У колькі разоў вага бруска з корку аб'ёмам $V = 0,50$ м³ адрозніваецца ад вашай вагі?



6. Параўнайце масы цел, для падняцця якіх на Зямлі і на Месяцы патрабуюцца аднолькавыя сілы.

7. Кардонная скрынка ўтрымлівае 50 плітак шакаладу. Вага скрынкі $P = 54$ Н. Вызначце масу адной пліткі шакаладу, калі маса пустой скрынкі $m = 0,40$ кг.

8. Беларускі штангіст А. Арамнаў стаў пераможцам XXIV Алімпійскіх гульняў, устанавіўшы тры сусветныя рэкорды. У штуршку ён падняў штангу масай $m = 236$ кг. Якой была вага штангі?

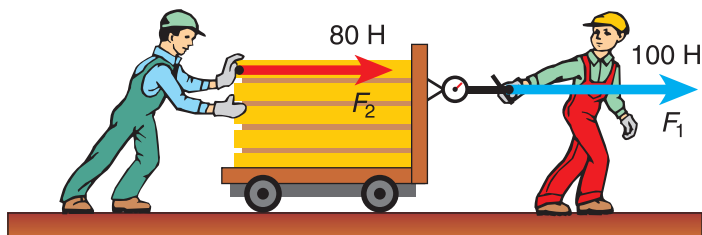
§ 13. Складанне сіл. Раўнадзейная сіла

На любое цела абавязкова дзейнічае Зямля, значыць, заўсёды дзейнічае хаця б адна сіла — сіла цяжару. Часцей за ўсё на цела дзейнічае не адно, а некалькі цел, інакш кажучы, некалькі сіл. На шарык, што вісіць на нітцы (мал. 74), дзейнічаюць Зямля і нітка (дзе сілы). На футбольны мяч у момант удару дзейнічаюць Зямля, грунт і нага футбаліста (тры сілы). Які вынік дзеяння некалькіх сіл?



Мал. 74

Рэшым такую задачу. Вы з сябрам перавозіце на калясцы груз, прычым адзін з вас цягне каляску, прыкладаючы гарызантальна сілу $F_1 = 100$ Н, другі штурхае яе, дзейнічаючы з сілай $F_2 = 80$ Н, таксама накіраванай гарызантальна (мал. 75). Чаму роўна сіла, што рухае каляску?



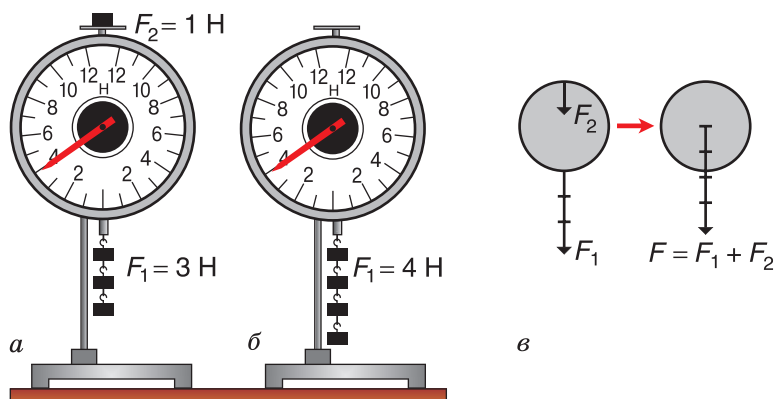
Мал. 75

Зразумела ж, гэта сіла: $F = F_1 + F_2 = 100 \text{ Н} + 80 \text{ Н} = 180 \text{ Н}$. А ці змяніўся б рух каляскі, калі б яе цягнуў адзін чалавек, прыкладаючы сілу $F = 180 \text{ Н}$? Натуральна — не, эфект быў бы такі самы. Гэта значыць, што адна сіла F дзейнічае на каляску гэтак жа, як дзве сілы F_1 і F_2 , якія дзейнічаюць на каляску адначасова.

Сіла, якая аказвае на цела такое ж дзеянне, як некалькі сіл, што дзейнічаюць на яго адначасова, называецца раўнадзейнай гэтых сіл.

Правядзём такі дослед. Да ніжняга кручка дынамометра падвесім груз вагой $P_1 = F_1 = 3 \text{ Н}$, а на століку змесцім груз вагой $P_2 = F_2 = 1 \text{ Н}$ (мал. 76, а).

Дынамометр паказвае дзеянне на яго сілы $F = 4 \text{ Н}$. Але гэта сума вагі ніжняга і верхняга грузаў. Гэтыя сілы накіраваны вертыкальна ўніз. Заменім гэтыя два грузы адным, вага якога 4 Н , і

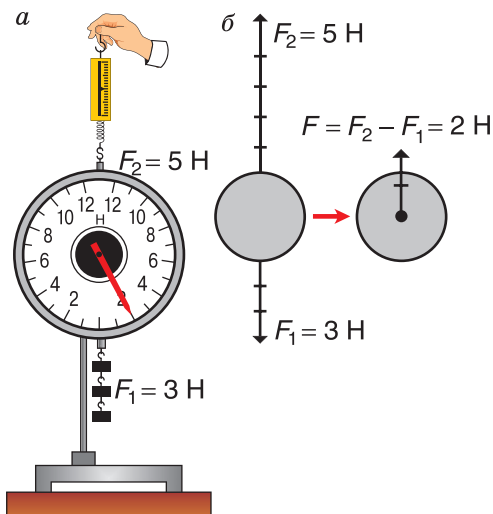


Мал. 76

падвесім яго да дынамометра (мал. 76, б). Па паказанні дынамометра відаць, што адзін груз дзейнічае гэтак жа, як два грузы вагой $P_1 = 3 \text{ Н}$ і $P_2 = 1 \text{ Н}$. Значыць, сіла $F = 4 \text{ Н}$ ёсць раўнадзейная дзвюх сіл, прыкладзеных да дынамометра. Пакажам гэтыя сілы схематычна (мал. 76, в).

Раўнадзейная сіл, якія дзейнічаюць на цела ў адным напрамку па адной прамой, роўна іх суме і дзейнічае ў тым жа напрамку.

А цяпер зменім дослед: падзейнічаем на дынамометр уверх сілай $F_2 = 5 \text{ Н}$ (мал. 77, а). Цяпер сілы, прыкладзеныя да дынамометра, накіраваны ў процілеглыя бакі. Калі сілу F_1 лічыць дадатнай, то сілу F_2 трэба лічыць адмоўнай (можна наадварот). Дынамометр паказвае сілу $F = 2 \text{ Н}$. Гэта і ёсць раўнадзейная дзвюх сіл. Яна накіравана ўверх, што пацвярджаецца змяненнем напрамку павароту стрэлкі дынамометра.



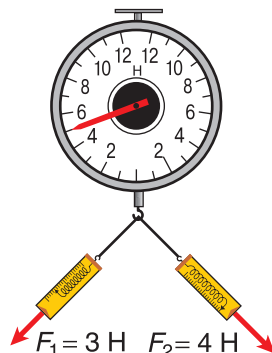
Мал. 77

Значыць, дзеянне дзвюх процілеглых накіраваных сіл можна замяніць адной сілай, модуль якой роўны рознасці модуляў дзвюх прыкладзеных сіл і якая накіравана ў бок большай сілы (мал. 77, б).

А калі сілы F_1 і F_2 маюць роўныя модулі? Тады раўнадзейная сіла роўна нулю. Адбываецца кампенсация сіл (гл. § 7).

Што будзе, калі прыкладзеныя да цела сілы дзейнічаюць не ўздоўж адной прамой? Прыклаўшы такія сілы з дапамогай двух дынамометраў да спружыны трэцяга (мал. 78), можна ўбачыць, што раўнадзейная сіла не роўна арыфметычнай суме сіл. У паказаным на малюнку доследзе прыкладзеныя сілы —

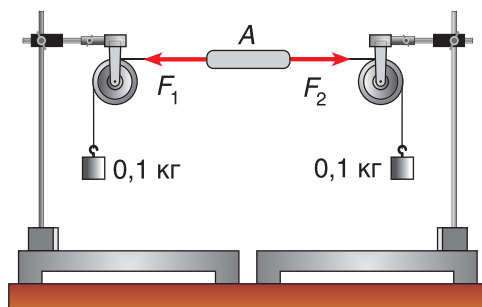
$F_1 = 3 \text{ Н}$, $F_2 = 4 \text{ Н}$ — перпендыкулярныя адна адной, а іх раўнадзейная F роўна не 7 Н , а 5 Н , г. зн. яе модуль меншы за суму $F_1 + F_2$. Як знаходзіць раўнадзейную ў такім і падобным выпадках, вы даведаецеся ў 9-м класе.



Мал. 78

Адкажам на адно важнае пытанне: як паводзіць сябе цела пры скампенсаваных сілах, г. зн. пры нулявым значэнні раўнадзейнай? Вы скажаце: вядома ж, цела знаходзіцца ў спакоі! Не спяшайцеся, спачатку правядзём дослед.

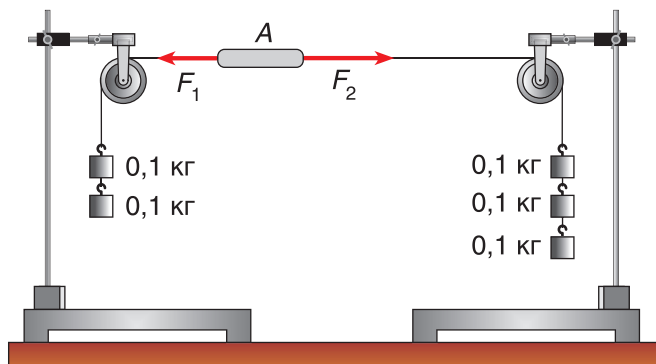
Возьмем пенапластавую пласцінку A вельмі малой масы. Падзейнічаем на пласцінку аднолькавымі па модулю сіламі пругкасці нітак F_1 і F_2 (мал. 79). Іншых сіл няма (вагу пласцінкі, а значыць, і сілу цяжару можна не ўлічваць). Раўнадзейная сіл F_1 і F_2 роўна нулю. Пласцінка знаходзіцца ў стане спакою. Штурхнём пласцінку. Яна пачне рухацца і, калі трэнне малое, будзе рухацца раўнамерна, г. зн. з пастаяннай скорасцю. Але пасля спынення штуршка на пласцінку па-ранейшаму дзейнічаюць толькі сілы F_1 і F_2 , іх раўнадзейная роўна нулю. Дослед дазваляе зрабіць вельмі важны вывад: **калі раўнадзейная сіл, прыкладзеных да цела, роўна нулю, цела знаходзіцца ў стане спакою або рухаецца раўнамерна і прамалінейна.**



Мал. 79

Прывядзіце самі прыклады, якія пацвярджаюць гэты вывад.

Калі ж працягнуць дослед і падвесіць да адной ніткі два грузы, а да другой, напрыклад, тры? Пласцінка пачне рухацца са скорасцю,



Мал. 80

якая павялічваецца (мал. 80). Чаму гэта адбудзецца? Таму што раўнадзейная сіл пругкасці нітак F_1 і F_2 , прыкладзеных да пласцінкі, ужо не будзе роўна нулю.

Звярніце ўвагу. **Знаходзіць раўнадзейную можна толькі для сіл, прыкладзеных да аднаго цела.**

Галоўныя вывады

1. Дзеянне некалькіх сіл, прыкладзеных да цела, можна замяніць іх раўнадзейнай.
2. Напрамак раўнадзейнай дзвюх сіл, якія дзейнічаюць уздоўж адной прамой, вызначаецца напрамкам большай з іх.
3. Калі раўнадзейная сіл, прыкладзеных да цела, роўна нулю, то яно або знаходзіцца ў спакоі, або рухаецца раўнамерна і прамалінейна.
4. Калі раўнадзейная ўсіх сіл, прыкладзеных да цела, не роўна нулю, то скорасць цела змяняецца.

Кантрольныя пытанні

1. Што называюць раўнадзейнай сілай?
2. Як знаходзяць раўнадзейную дзвюх сіл, калі яны: а) накіраваны ў адзін бок; б) накіраваны ў процілеглыя бакі?
3. Чаму роўна раўнадзейная сіл, якія прыкладзены да нартаў (мал. 81)?
4. Сфармулюйце ўмову руху цела з пастаяннай скорасцю.



Мал. 81

Прыклад рашэння задачы

На аўтамабіль, што рухаецца раўнамерна па гарызантальным участку, дзейнічае сіла супраціўлення руху $F_{\text{супр}} = 800 \text{ Н}$. Вызначце сілу цягі, якую развівае рухавік аўтамабіля. Намалуйце схематычна ўсе сілы, што дзейнічаюць на аўтамабіль (маштаб: $0,5 \text{ см} — 400 \text{ Н}$). Знайдзіце іх раўнадзейную.

Дадзена:

$$F_{\text{супр}} = 800 \text{ Н}$$

$$F_{\text{цягі}} — ?$$

$$F_{\text{р}} — ?$$

Рашэнне

Калі аўтамабіль рухаецца раўнамерна, то раўнадзейная ўсіх сіл, прыкладзеных да яго, роўна нулю. На аўтамабіль дзейнічаюць: сіла цяжару $F_{\text{ц}}$, сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$, сіла цягі $F_{\text{цягі}}$, сіла супраціўлення $F_{\text{супр}}$.

Пакажам графічна $F_{\text{супр}}$ у рэкамендуемым маштабе (мал. 82): $0,5 \text{ см} — 400 \text{ Н}$. Паколькі рух аўтамабіля раўнамерны, то раўнадзейная сіл:

$$F_{\text{цягі}} - F_{\text{супр}} = 0, \text{ г. зн.}$$

$$F_{\text{цягі}} = F_{\text{супр}} = 800 \text{ Н.}$$

Аналагічна

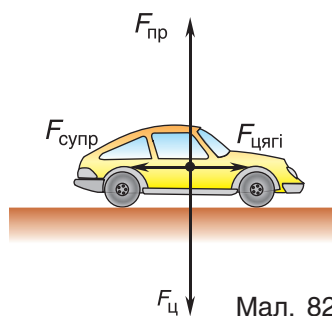
$$F_{\text{пр}} - F_{\text{ц}} = 0.$$

Адказ: $F_{\text{цягі}} = 800 \text{ Н}$; $F_{\text{р}} = 0$.

Практыкаванне 7

1. Якімі будуць максімальнае і мінімальнае значэнні раўнадзейнай дзвюх сіл, накіраваных уздоўж адной прамой, калі $F_1 = 10 \text{ Н}$, $F_2 = 12 \text{ Н}$?

2. Дзіма дапамагае бацьку перасоўваць шафу (мал. 83). Дзіма штурхае шафу з сілай $F_1 = 100 \text{ Н}$, а бацька — з сілай $F_2 = 500 \text{ Н}$. Абедзве сілы накіраваны гарызантальна.



Мал. 82



Мал. 83

Вызначце раўнадзейную сілу, з якімі бацька і сын дзейнічаюць на шафу. Пакажыце схематычна гэтыя сілы (маштаб: 1 см — 100 Н).

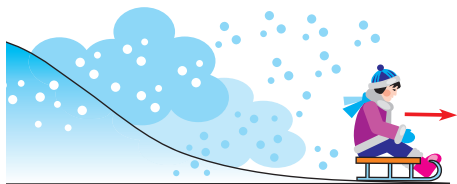
3. Кабіна ліфта агульнай масай $m = 200$ кг падываецца на трое, сіла пругкасці якога $F = 2,20$ кН. Вызначце раўнадзейную сілу, прыкладзеных да кабіны ліфта. Намалуйце гэтыя сілы (маштаб: 0,5 см — 100 Н). Ці з'яўляецца рух кабіны раўнамерным? Тут і ў наступных задачах каэфіцыент g прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. Пасля раскрыцця парашута рух парашуціста стаў раўнамерным. Маса парашуціста з парашутам $m = 80$ кг. Вызначце сілу супраціўлення паветра, што дзейнічае на парашуціста з парашутам. Чаму роўна раўнадзейная сіла? Намалуйце сілы (маштаб: 1 см — 200 Н). Чаму роўна вага парашуціста з парашутам?

5. Пад дзеяннем двух чыгунных кубікаў аб'ёмам $V = 0,10 \text{ дм}^3$ кожна спружына расцягнулася на $l = 5$ см. На колькі расцягнецца спружына, калі да яе падвесіць чыгунную дэталі масай $m_2 = 1,4$ кг?

§ 14. Трэнне. Сіла трэння

Хто з вас не катаўся з гары на санках? Набыўшы вялікую скорасць, санкі (мал. 84), выязджаючы на гарызантальны ўчастак, тым не менш спыняюцца. Чаму? Прычына, з-за якой памяншаецца скорасць, не відавочная, аднак яна павінна існаваць. Бо толькі дзеючая сіла можа змяніць скорасць санак. І гэтай

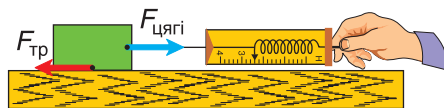


Мал. 84

сілай з'яўляецца сіла трэння слізгання. А што трэба зрабіць, каб санкі працягвалі рух з той жа скорасцю? Трэба кампенсаваць сілу трэння. Для гэтага трэба цягнуць санкі гарызантальна з сілай, роўнай па модулю сіле трэння.

Правядзем дослед. Да бруска прымацуем дынамометр. Будзем раўнамерна перамяшчаць брусок па гарызантальнай паверхні стала (мал. 85). Дынамометр паказвае, што на брусок дзейнічае сіла

цягі, але скорасць руху бруска не змяняецца. Значыць, на брусок дзейнічае кампенсуючая сіла, роўная па модулю сіле цягі. Гэтай сілай з'яўляецца сіла трэння $F_{\text{тр}}$. Раўнадзейная сіл $F_{\text{цягі}}$ і $F_{\text{тр}}$ роўна нулю. Звярніце ўвагу, што сіла трэння роўная сіле цягі толькі ў выпадку раўнамернага прамалінейнага руху. Калі ж сіла цягі большая за сілу трэння, то скорасць руху цела будзе ўзрастаць. А калі $F_{\text{цягі}}$ меншая за $F_{\text{тр}}$ — памяншацца.

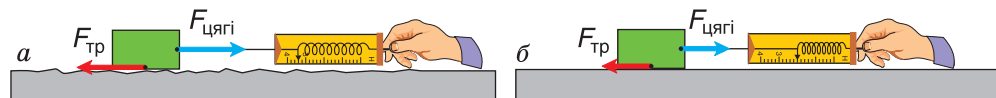


Мал. 85

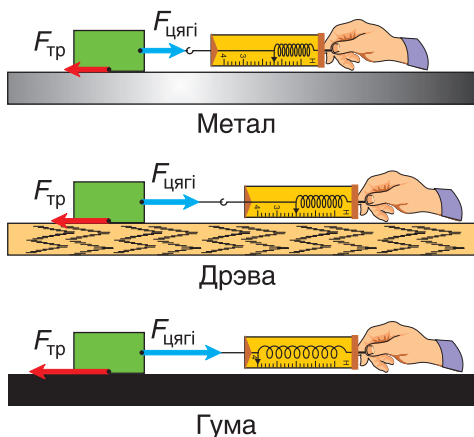
Такім чынам, **сіла трэння слізгання ўзнікае пры руху аднаго цела па паверхні другога і накіравана ў бок, процілеглы руху.**

Чаму ўзнікае сіла трэння? Працягнем дослед. Будзем раўнамерна перамяшчаць брусок спачатку па шурпатай, а затым па апрацаванай паверхні дошкі. Сіла цягі будзе большая пры руху па шурпатай паверхні (мал. 86, а). Значыць, і роўная ёй па модулю сіла трэння будзе тым большая, чым больш шурпатай, няроўнай з'яўляецца паверхня. Пры руху няроўнасці чапляюцца адна за адну, дэфармуюцца, разбураюцца. Гэта стварае перашкоды руху. А калі б паверхні былі ідэальна гладкія, ці ўзнікла б сіла трэння пры руху аднаго цела па паверхні другога? Не спяшайцеся адказаць «не». Пры добра адпаліраваных паверхнях адлегласць паміж паверхнямі цел або іх часткамі пры руху цел такая малая, што зрабляцца прыметнымі сілы прыцяжэння малекул аднаго цела да малекул другога. Гэтыя сілы будуць тармазіць рух цел (мал. 86, б).

Такім чынам, *шурпатасць паверхняў і сілы прыцяжэння паміж малекуламі паверхняў, якія судакранаюцца, — прычыны ўзнікнення сіл трэння.*



Мал. 86

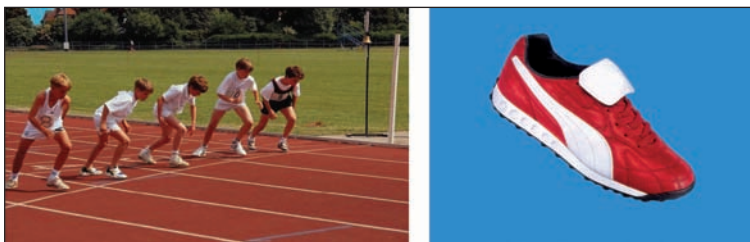


Мал. 87

Калі пры руху судакранаюцца цвёрдыя паверхні цёл, трэнне называюць *сухім*.

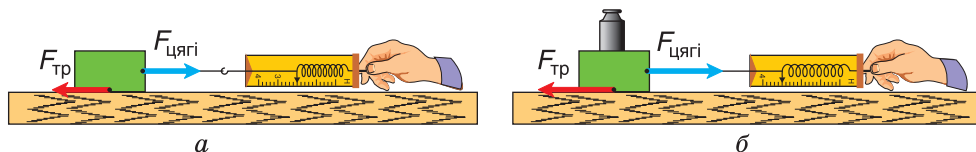
Ад чаго залежыць сіла сухога трэння? Дадзім адказ, зыходзячы з доследу. Будзем раўнамерна рухаць брусок па розных паверхнях — па паверхні метала, дрэва, гумы (мал. 87) з прыкладна аднолькавай якасцю апрацоўкі. Дынамометр паказвае розную сілу цягі. Значыць, сілы трэння дрэва па метале, дрэва па дрэве, дрэва па гуме (гл. мал. 87) будуць розныя. Найбольшая сіла трэння пры руху па гумавай паверхні. Невыпадкова падэшвы ў спартыўным абутку (мал. 88) робяць гумавамі і рэльефнымі.

Паставім цяпер на брусок гіру і параўнаем сілы трэння пры раўнамерным руху ненагружанага бруска і бруска з гірай (мал. 89). Бачна, што ў другім выпадку (гл. мал. 89, б) сіла цягі, а значыць, і сіла трэння павялічыліся. Але брусок з гірай з большай сілай цісне на паверхню, з якой ён судакранаецца. З гэтага вынікае, што **сіла трэн-**

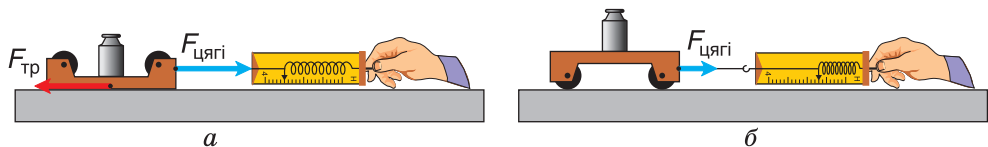


Мал. 88

Паставім цяпер на брусок гіру і параўнаем сілы трэння пры раўнамерным руху ненагружанага бруска і бруска з гірай (мал. 89). Бачна, што ў другім выпадку (гл. мал. 89, б) сіла цягі, а значыць, і сіла трэння павялічыліся. Але брусок з гірай з большай сілай цісне на паверхню, з якой ён судакранаецца. З гэтага вынікае, што **сіла трэн-**



Мал. 89



Мал. 90

ня тым большая, чым большая сіла, што прыціскае цела (брусок) да паверхні.

Як паменшыць трэнне? Тут ёсць два шляхі. Першы — замяніць трэнне *слізгання* трэннем *качэння*. Правядзём такі дослед. Будзем раўнамерна перамяшчаць металічную калясачку па сталё слізганнем (мал. 90, а) і качэннем (мал. 90, б). Сіла трэння ў другім выпадку значна меншая, хаця матэрыял паверхняў і прыціскаючая сіла не змяняюцца. Значыць, трэнне качэння меншае за трэнне слізгання. Невыпадкава для перавозкі грузаў выкарыстоўваецца колавая тэхніка. З цяжкім чамаданам справіцца лёгка, калі да яго прымацаваць колы.

А ці ведаеце вы, што з дапамогай каткоў перасоўваюць дамы? Напрыклад, у горадзе Маскве ў час рэканструкцыі вуліцы Цвярской некаторыя дамы былі такім спосабам перасунуты на іншае месца.

У машынах для замены трэння слізгання трэннем качэння выкарыстоўваюць *шарыкавыя* і *ролікавыя* (мал. 91) *падшыпнікі*. Падшыпнікі дыяметра 1,5—2 мм прымяняюць у дакладных вымяральных прыборах. Вал машыны або іншага механізма, які верціцца, не слізгае па нерухомым укладышы падшыпніка, а коціцца па ім на сталёвых шарыках або роліках. Гэта зніжае трэнне ў 20—30 разоў.

Другі шлях памяншэння трэння слізгання — гэта *змазванне* паверхняў, якія труцца. Змазка (напрыклад, масла) запаўняе ўсе няроўнасці паверхняў, што труцца, і размяшчаеца тонкім слоём паміж імі так, што паверхні перастаюць судакранацца. Пры гэтым сухое трэнне замяняецца *трэннем слаёў вадкасці* (масла), а яно ў 8—10 разоў меншае.



Мал. 91

Змазванне мылам паверхняў высоўнай шуфляды або аконнай рамы, якія труцца, робіць слізганне больш лёгкай. Змачыўшы мыльнай вадой палец, лягчэй зняць шчыльна надзеты пярсцёнак. Падклаўшы пад ножкі цяжкай шафы тлустую пракладку, вы зможце без асаблівых намаганняў перасоўваць шафу па кватэры.

Вопытны аўтамабіліст ніколі не адправіцца ў далёкі шлях, не правыўшы, ці дастаткова масла ў рухавіку яго машыны. Растлумачце, навошта ён гэта робіць.

Галоўныя вывады

1. Сіла трэння слізгання ўзнікае пры руху аднаго цела па паверхні другога.
2. Сіла трэння слізгання накіравана супраць руху.
3. Сіла трэння залежыць ад уласцівасцей паверхняў, што судакранаюцца, і сілы ціску.

Кантрольныя пытанні

1. У якіх выпадках узнікае сіла трэння і чым яна абумоўлена?
2. Як накіравана сіла трэння?
3. Якія віды трэння вам вядомыя? Прывядзіце прыклады.
4. Як вымераць сілы трэння слізгання і качэння?
5. Ад чаго залежыць сіла трэння слізгання? Як яе паменшыць?
6. Якія сілы пераадольвае бібліятэкар, выцягваючы кнігу (мал. 92)? Як яны накіраваны?



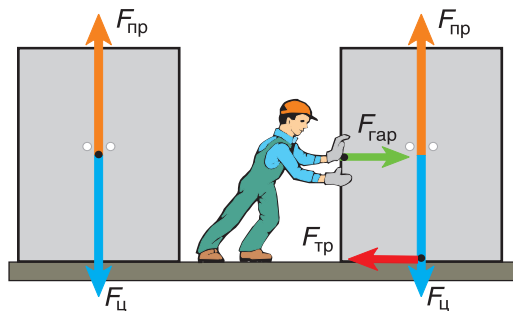
Мал. 92



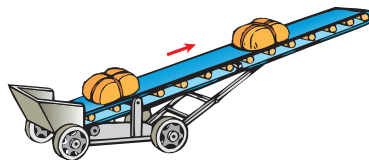
§ 15. Трэнне спакою. Карыснае прымяненне трэння

Ці існуе трэнне, калі цела знаходзіцца ў стане спакою? Адказаць на гэта пытанне не проста: і так, і не.

Разгледзім прыклад: у пакоі на гарызантальнай падлозе стаіць шафа. На яе дзейнічаюць дзве сілы — сіла цяжару $F_{\text{ц}}$ і сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$ (мал. 93). Яны роўныя па модулі і процілеглыя па напрамку. Шафа знаходзіцца ў спакоі. Значыць, раўнадзейная сіл $F_{\text{ц}}$ і $F_{\text{пр}}$ роўна нулю. Сілы трэння няма. А цяпер паспрабуйце ссунуць шафу, па-



Мал. 93



Мал. 94

дзеянчаўшы на яе гарызантальнай сілай $F_{\text{гар}}$. Да шафы прыкладзена гарызантальная сіла, але шафа застаецца ў стане спакою. Відавочна, руху шафы перашкаджае сіла, якую называюць *сілай трэння спакою* $F_{\text{тр}}$. Яна роўна па модулю гарызантальнай сіле $F_{\text{гар}}$ і процілеглая ёй па напрамку. Раўнадзейная сіл, прыкладзеных да шафы, роўна нулю, і шафа захоўвае стан спакою. Калі павялічваецца $F_{\text{гар}}$, то павялічваецца і $F_{\text{тр}}$ спакою. Але іх модулі па-ранейшаму роўныя.

Сіла трэння спакою сустракаецца яшчэ часцей, чым сіла трэння слізгання. Яна ўтрымлівае целы на нахіленых паверхнях (мал. 94), не дазваляе рассыпацца горцы пяску, разбурыцца драўляным збудаванням. Менавіта сіла трэння спакою ўтрымлівае дахавы матэрыял на даху Прэабражэнскай царквы (востраў Кіжы на Анежскім возеры) (мал. 95), якая пабудавана без адзінага цвіка. Каб не было сіл трэння спакою, нельга было б пісаць, мы б не змаглі ўтрымаць ручку або аловак у руцэ. Без трэння спакою не змаглі б пачаць рух аўтамабілі, цягнікі, людзі. Успомніце, як цяжка ісці па гладкім лёдзе.



Мал. 95

Не разумеючы ролі трэння спакою для вярчэння колаў, можна трапіць у анекдатычную сітуацыю. Вядома, што калі першы цягнік ішоў па новай чыгунцы з Пецярбурга ў Маскву, адзін паслужлівы царскі чыноўнік, жадаючы дагадзіць начальству, загадаў на сваім перагоне пафарбаваць рэйкі белай масленай фарбай. Рух цягніка на гэтым участку стаў немагчымы. Колы цягніка буксавалі. Давялося тэрмінова саскрабаць фарбу на перагоне ў некалькі кіламетраў. Паспрабуйце растлумачыць, чаму буксаваў цягнік.

Галоўныя вывады

1. Сіла трэння спакою ўзнікае, калі на цела, што знаходзіцца ў спакоі, дзейнічае сіла, якая імкнецца выклікаць яго рух.
2. Сіла трэння спакою процілеглая сіле, што дзейнічае на цела ў напрамку магчымага руху, але роўная ёй па модулю.

Кантрольныя пытанні

1. Калі ўзнікае сіла трэння спакою? Як яна накіравана?
2. Чаму сіле трэння спакою нельга прыпісаць пастаяннае значэнне?

Практыкаванне 8

1. На шынах аўтамабіляў, трактароў маецца пратэктар (рэльефны малюнак). Для чаго ён патрэбен?

2. Для чаго баксёры перад выхадам на рынг некалькі секунд «танцуюць» у скрынцы з каніфоллю?

3. Чаму пасля дажджу дарога робіцца слізкай?

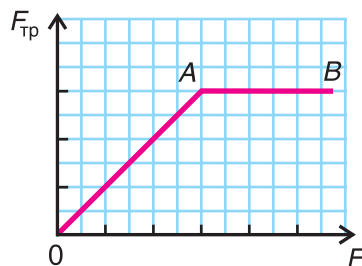
4. Камяк ваты масай $m = 5$ г падае з пастаяннай скорасцю. Якія сілы прыкладзены да камяка і чаму роўна іх раўнадзейная?

5. Спадарожны вецер дзейнічае на буер (спартыўныя санкі з ветразем) з сілай $F = 400$ Н, рухаючы яго з пастаяннай скорасцю. Разлічыце і пакажыце ў сшытку ўсе сілы, прыкладзеныя да буера. Чаму роўна раўнадзейная ўсіх сіл, прыкладзеных да буера?

6. Чаму ў вытворчасці чыгуначных лакаматываў (цеплавозаў, электравозаў) не выкарыстоўваюць лёгкія сплавы алюмінію, шырока прымяняемыя ў самалётабудаванні?



7. Дадзен графік (мал. 96) залежнасці модуля сілы трэння $F_{\text{тр}}$ ад модуля сілы F , якая штурхае цела, што ляжыць на гарызантальнай паверхні, у гарызантальным напрамку. Якому стану цела адпавядаюць участкі графіка OA і AB ?



Мал. 96

2

Робота і енергія. Простыя механізмы

Якім малатком — лёгкім ці цяжкім — можна забіць цвік, зрабіўшы меншы лік удараў?

У чым сутнасць прыказкі: «Што патраціў пры пад'ёме ўгару, вярнуў пры спуску»?

Ці можа адзін чалавек падняць грузыны аўтамабіль?

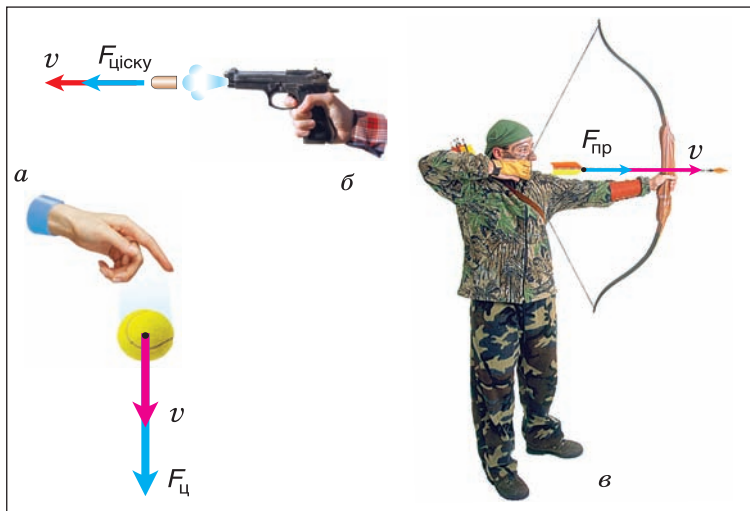


§ 16. Механічная работа. Адзінкі работы

У штодзённым жыцці слова «работа» ўжываецца ў розных сэнсах. Напісаўшы дамашняе сачыненне, рашыўшы цяжкія задачы, вы адчуваеце стомленасць і з горадасцю за самога сябе гаворыце: «Я сёння зрабіў такую вялікую работу». Аднак з пункту гледжання фізікі вы работы не выканалі. Што ж такое работа?

У фізіцы работа мае строга вызначаны сэнс: яна ацэньвае тое, што выканала сіла, дзейнічаючы на цела, якое рухаецца.

Паглядзіце ўважліва на малюнак 97. Што агульнае ў выніках дзеяння сіл ва ўсіх цел, паказаных на малюнку? Сілы цяжару (мал. 97, *а*), ціску газу (мал. 97, *б*) і пругкасці (мал. 97, *в*), што дзейнічаюць, выклікаюць разгон цела, г. зн. павелічэнне яго скорасці. Але сіла, якая дзейнічае на цела, што рухаецца, можа яго тармазіць, г. зн. памяншаць яго скорасць. Напрыклад, калі кінуць уверх мяч (мал. 98), то сіла цяжару будзе памяншаць скорасць яго руху. У тых выпадках, **калі сіла змяняе значэнне скорасці руху цела, гавораць, што сіла выконвае механічную работу.**



Мал. 97



Мал. 98



Мал. 99

Работа з'яўляецца фізічнай велічынёй. Па якой формуле разлічваецца работа?

Разгледзім разгон любога транспартнага сродку: матацыкла, аўтамабіля, ракеты, спартыўных санак (мал. 99). Ва ўсіх выпадках змяненне скорасці цел, а значыць, і работа, якая выконваецца пры разгоне, за-

лежыць ад значэння дзеючай сілы (сілы цягі, што ствараецца рухавіком) і ад пройдзенага шляху. Чым большыя сіла і шлях, тым большая выконваецца работа.

Зыходзячы з гэтых меркаванняў, **механічную работу вызначаюць як фізічную велічыню, прапарцыянальную сіле, што дзейнічае на цела, і пройдзенаму пад дзеяннем гэтай сілы шляху.**

Абазначым работу літарай A . Тады, калі **напрамак сілы супадае з напрамкам руху цела:**

работа = сіла • шлях,	або	$A = Fs.$
-----------------------	-----	-----------

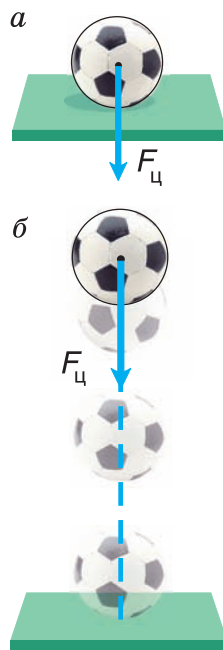
Адзінкай работы ў СІ з'яўляецца **1 джоўль (1 Дж)**. Названа яна ў гонар вядомага англійскага фізіка Дж. П. Джозля.

Адзін джоўль — гэта работа, якая выконваецца сілай 1 Н на шляху 1 м.

$$1 \text{ джоўль} = 1 \text{ ньютан} \cdot 1 \text{ метр.}$$

З формулы вынікае, што калі ёсць сілы, але няма руху, — няма і работы.

Так, сіла цяжару, якая дзейнічае на мяч, што ляжыць на сталё (мал. 100, а), работы не выконвае, а ў выпадку мяча, што падае (мал. 100, б), выконвае работу.



Мал. 100

Прыкладзеная да цела, якое рухаецца, сіла не заўсёды павялічвае яго скорасць. Так, пры пад'ёме ўверх кінутага мяча (гл. мал. 98) сіла цяжару запавольвае яго рух. Аналагічна пры слізганні шайбы па лёдзе сіла трэння памяншае скорасць руху шайбы. Работу сілы (цяжару, трэння), выкананую ў гэтых і падобных выпадках, лічаць адмоўнай.

Галоўныя вывады

1. Механічная работа характарызуе здольнасць прыкладзенай да цела сілы змяняць значэнне скорасці цела.
2. Механічная работа прапарцыянальна сіле, што дзейнічае, і пройдзенаму целам шляху.
3. Пры адсутнасці руху цела сілы, што дзейнічаюць на цела, не выконваюць работы.
4. Адзінка работы ў СІ — 1 джоўль.

Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе механічная работа?
2. Ад чаго залежыць значэнне выкананай работы?
3. Што прынята ў СІ за адзінку работы?
4. У якім выпадку сілай выконваецца адмоўная работа?
5. Ці выконвае работу сіла цяжару, якая дзейнічае на спартсмена, калі ён: а) стаіць на трампліне; б) падае ў ваду; в) усплывае?

Прыклад рашэння задачы

Пад'ёмны кран раўнамерна падымае з зямлі мяшкі з цэментам агульнай масай $m = 500$ кг на адзін з паверхаў дома, што будзецца. Сіла пругкасці троса пры гэтым выконвае работу $A = 100$ кДж. Вызначце, на які паверх быў падняты цэмент, калі вышыня аднаго паверха $h_0 = 4,0$ м. Чаму роўна работа раўнадзейнай сіл, прыкладзеных да мяшкоў? Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$m = 500 \text{ кг} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ кг}$$
$$A = 100 \text{ кДж} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$
$$h_0 = 4,0 \text{ м}$$

N — ?

A_p — ?

Рашэнне

Пры раўнамерным пад'ёме сіла пругкасці троса роўна сіле цяжару, што дзейнічае на мяшкі: $F_{\text{пр}} = gm$. Работа сілы пругкасці $A = gmh$. Вышыня пад'ёму $h = Nh_0$, дзе N — лік паверхаў. Тады $A = gNmh_0$, адкуль:

$$N = \frac{A}{gmh_0}; \quad N = \frac{1,00 \cdot 10^5 \text{ Дж}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5,0 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot 4,0 \text{ м}} = 5.$$

Паколькі рух мяшкоў раўнамерны, то раўнадзейная сіл, прыкладзеных да іх, $F_p = 0$ і работа A_p роўна нулю.

Адказ: мяшкі з цэментам падняты на 6-ы паверх; работа раўнадзейнай сілы $A_p = 0$.

Практыкаванне 9

1. Выразіце ў джоўлях работу: $A_1 = 1 \text{ МДж}$; $A_2 = 1 \text{ кДж}$; $A_3 = 1 \text{ мДж}$; $A_4 = 1 \text{ мкДж}$.

2. Якую работу выконвае сіла $F = 2,0 \text{ кН}$, што разганяе цела на шляху $s = 20 \text{ см}$?

3. Якую работу выконвае сіла цяжару пры: а) падзенні каменя масай $m = 2,0 \text{ кг}$ з вышыні $h = 5,0 \text{ м}$; б) пад'ёме гэтага ж каменя на вышыню $h = 5,0 \text{ м}$? У дадзенай і наступных задачах прыняць $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. Чаму роўна значэнне пастаяннай сілы, што выконвае работу $A = 0,80 \text{ Дж}$ на шляху $s = 40 \text{ см}$?

5. Які шлях праязджае каляска, калі пастаянная сіла $F = 100 \text{ Н}$, што дзейнічае на яе, выконвае работу $A = 2,0 \text{ кДж}$?

6. Пры пад'ёме вядра з вадой масай $m = 10 \text{ кг}$ на вышыню $h = 1,0 \text{ м}$ сілай пругкасці троса была выканана работа $A = 120 \text{ Дж}$. Ці раўнамерна падымалі вядро?

7. Пры разгоне аўтамабіля раўнадзейная сіл, прыкладзеных да яго, выканала работу $A = 100$ кДж. Якая павінна быць тармозячая сіла, каб спыніць гэты аўтамабіль на адлегласці $s = 50$ м пры выключаным рухавіку?



8. Пры вертыкальным пад'ёме ракеты масай $m = 80$ кг на некаторую вышыню сілай цягі $F = 1200$ Н была выканана работа $A = 120$ кДж. На якую вышыню паднялася ракета? Якую работу выканалі за гэты час сіла цяжару і раўнадзейная сіл, прыкладзеных да ракеты? Змяненне масы ракеты не ўлічваць.

§ 17. Магутнасць. Адзінка магутнасці

Ацэньваючы эфектыўнасць работы машыны або якога-небудзь механізма, чалавек цікавіцца такой велічынёй, як магутнасць. Менавіта магутнасць з'яўляецца пашпартнай характарыстыкай машын і механізмаў. Што ж такое магутнасць?



Мал. 101

Разгледзім прыклад. Чалавек лапатай капае яму для skle-па на працягу некалькіх дзён. Такую ж яму экскаватар (мал. 101) выкапае за некалькі мінут. Работа выконваецца аднолькавая. Аднолькавая маса грунту падываецца на адну і тую ж вышыню. Але хуткасць выканання работы мускульнай сілай чалавека і сілай нацяжэння троса экскаватара розная. За адзінку часу сіла нацяжэння троса экскаватара выконвае работу большую, чым сіла мускулаў чалавека.

Для апісання хуткасці выканання работы ўводзіцца *магутнасць*.

Фізічная велічыня, лікава роўная рабоце, выкананай за адзінку часу, называецца магутнасцю. Абазначаецца магутнасць літарай P .

$$\text{Магутнасць} = \frac{\text{праца}}{\text{прамежак часу}}, \quad \text{або} \quad P = \frac{A}{t}.$$

За адзінку магутнасці ў СІ прымаецца магутнасць, пры якой сіла, што дзейнічае на цела, за час $t = 1$ с выконвае работу $A = 1$ Дж.

Гэта адзінка магутнасці называецца **ват** (абазначаецца **Вт**) у гонар англійскага вынаходцы Дж. Уата. Для вымярэння вялікіх магутнасцей выкарыстоўваюцца кратныя адзінкі: гектават (гВт), кілават (кВт), мегават (МВт). Звярніце ўвагу:

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^2 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

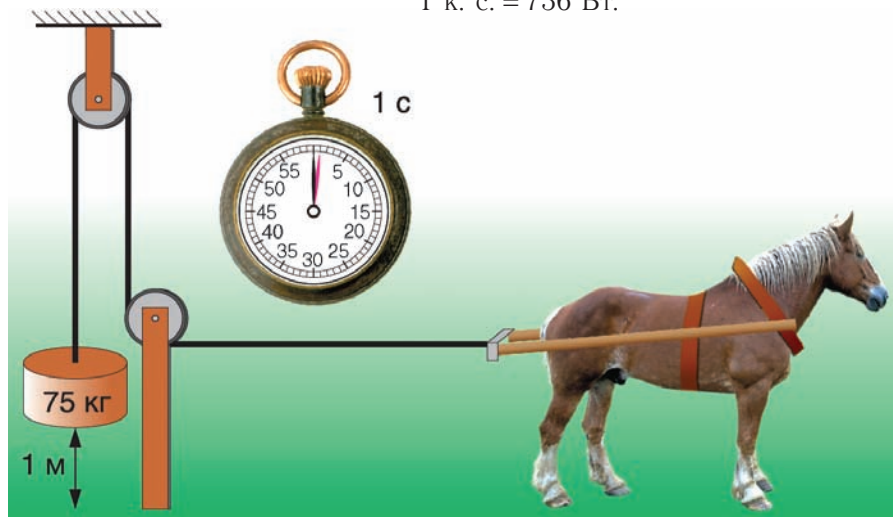
Для малых магутнасцей ужываюцца долевыя адзінкі: міліват (мВт), мікрават (мкВт):

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мкВт} = 0,000001 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}.$$

Аўтамабілісты па традыцыі выкарыстоўваюць старадаўнюю адзінку магутнасці — «конскую сілу» (к. с.). Па малюнку 102 сфармулюйце азначэнне адзінкі магутнасці «1 конская сіла». Запішам сувязь 1 к. с. і вата:

$$1 \text{ к. с.} = 736 \text{ Вт}.$$



Мал. 102

У аўтатрактарнай прамысловасці магутнасць рухавікоў звычайна выражаюць у гэтых адзінках. Першы беларускі трактар «МТЗ-2» (1953 г.) меў рухавік магутнасцю 37 к. с., а асвоены ў 2007 г. трактар «Беларус-2822ДЦ» — рухавік магутнасцю 280 к. с.

Вопытны вадзіцель заўсёды разумна выкарыстоўвае магутнасць сваёй машыны, манеўруючы скорасцю вярчэння колаў. Чаму? Запішам формулу магутнасці:

$$P = \frac{A}{t},$$

але $A = F \cdot s$, тады

$$P = \frac{Fs}{t},$$

але $\frac{s}{t} = v$, значыць:

$$P = Fv.$$

Магутнасць вызначаецца сілай, якая выконвае работу, і скорасцю. Тады пры пастаяннай магутнасці, чым меншая скорасць, тым большая сіла. Вось чаму вадзіцель, кранаючыся з месца або падымаючыся на гару, калі патрабуецца вялікая сіла, едзе на малой скорасці, каб павялічыць сілу цягі рухавіка аўтамабіля.

Менавіта для гэтага ў аўтамабілях і трактарах ёсць спецыяльнае ўстройства для пераключэння скорасці вярчэння колаў — каробка перадач, ручка якой (мал. 103) размешчана блізка да правай рукі вадзіцеля.



Мал. 103

Галоўныя вывады

1. Магутнасць — фізічная велічыня, якая характарызуе хуткасць выканання работы.

2. Аднолькавую магутнасць можна атрымаць або пры вялікай скорасці і невялікай сіле або, наадварот, пры малой скорасці і вялікай сіле.

3. Адзінкай магутнасці ў СІ з'яўляецца 1 Вт.

Кантрольныя пытанні

1. Што ўяўляе сабой магутнасць?
2. У якіх адзінках у СІ вымяраецца магутнасць?
3. Як разумець выраз: «Магутнасць адной устаноўкі ў два разы большая за магутнасць другой»?
4. Як правільна прачытаць формулу магутнасці: «Значэнне магутнасці прама прапарцыянальна рабоце і адваротна прапарцыянальна прамежку часу» ці «Значэнне магутнасці лікава роўна рабоце, якая выканана за адзінку часу»?
5. Што азначае выраз: «Магутнасць рухавіка 600 Вт»?
6. Для чаго ў аўтамабілях і трактарах ёсць устройства для змянення скорасці вярчэння колаў? Як яно называецца?

Прыклад рашэння задачы

На ўроку фізкультуры хлопчык масай $m = 40$ кг падняўся па канале на вышыню $h = 5,0$ м за прамежак часу $t = 10$ с. Вызначце сярэднюю магутнасць, што развівае хлопчык пры пад'ёме. Каэфіцыент $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$m = 40 \text{ кг}$$

$$h = 5,0 \text{ м}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

P — ?

Рашэнне

Магутнасць $P = \frac{A}{t}$. Выкананая работа супраць сілы цяжару роўна: $A = gmh$. Тады магутнасць:

$$P = \frac{gmh}{t}; \quad P = \frac{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} \cdot 5,0 \text{ м}}{10 \text{ с}} = 200 \text{ Вт} = 0,20 \text{ кВт}.$$

Адказ: $P = 0,20$ кВт.

Практыкаванне 10

1. Ці можна з дапамогай механізма малой магутнасці выканаць вялікую работу?

2. Знайдзіце магутнасць механізма, які выконвае работу $A = 1,8$ МДж за прамежак часу 1,0 мін.

3. Якую работу выконвае за прамежак часу $t = 1,0$ г трактар «Беларус МТЗ-80» з рухавіком магутнасцю $P = 59$ кВт?

4. За які прамежак часу можа забрацца па канале на вышыню $h = 4,0$ м спартсмен масай $m = 80$ кг, калі максімальная магутнасць, якую ён развівае, роўна $P = 0,80$ кВт?

5. Якую масу цэглы можна падняць раўнамерна за прамежак часу $t = 20$ с на вышыню $h = 16$ м, выкарыстоўваючы пад'ёмнік магутнасцю $P = 2,0$ кВт?

6. Чаму роўна сіла супраціўлення пры руху аўтамабіля з пастаяннай скорасцю $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{г}}$ і магутнасцю рухавіка $P = 60$ кВт?



7. Чаму не ўдаецца араць, выкарыстоўваючы легкавы аўтамабіль, яго ж рухавік значна магутнейшы за рухавік міні-трактара, які лёгка выконвае гэту работу?

§ 18. Кінетычная энергія

«Энергія» ўяўляе сабой адно з найбольш важных і складаных паняццяў, прычым не толькі ў фізіцы, але і ва ўсякай іншай навуцы. А ці ёсць больш важная тэхнічная праблема, чым вытворчасць, перадача і выкарыстанне энергіі? Дык што ж такое энергія?

Пазнаёмімся спачатку з адным з яе відаў — кінетычнай энергіяй. Мы ўжо ведаем, што сіла, якая дзейнічае на цела, можа выконваць работу. Але разганяемае цела, павялічваючы скорасць, само набывае пэўную новую ўласцівасць. Валодаючы скорасцю, цела здольна выканаць значнае дзеянне. Шайба, што ляціць, прагне сетку варт (мал. 104), молат для забівання паляў прасуне ў глыб зямлі палю

(мал. 105), г. зн. і шайба, і молат выканаюць работу.

Дык што ж набывае цела, прыходзячы ў рух? Вы скажаце, зразумела, скорасць! Але дзеянне цела залежыць не толькі ад скорасці. Так, калі параўнаць шайбу і молат для забівання паляў, якія маюць роўныя скорасці, то выкананыя імі работы будуць зусім розныя.

Менавіта таму кожнаму **целу, што рухаецца**, прыпісваюць асобую характарыстыку — *кінетычную энергію* (ад грэч. *kinētikós* — які прыводзіць у рух), г. зн. энергію руху. Будзем абазначаць яе літарай *K*.

За кінетычную энергію цела прымаюць велічыню, роўную рабоце, якая выконваецца пры разгоне цела са стану спакою да дадзенай скорасці, або (што тое ж самае) велічыню, роўную рабоце сілы, неабходнай для спынення дадзенага цела.

З азначэння відаць, што кінетычная энергія вымяраецца ў СІ у тых жа адзінках, што і работа, г. зн. у *джоўлях*.

Вялікая кінетычная энергія (цел, што рухаюцца: каменя, аўтамабіля, чыгуначнага саставу (мал. 106), мэтэарыта) абазначае, па-першае, што пры разгоне іх да дадзенай скорасці была выканана вялікая работа, і, па-



Мал. 104



Мал. 105



Мал. 106

другое, што пры спыненні цел імі будзе выканана такая ж вялікая работа. Таму нярэдка гавораць, што **кінетычная энергія характарызуе здольнасць цела выконваць работу.**

Кінетычная энергія цела залежыць ад яго скорасці і масы. У 9-м класе мы зможам вывесці формулу для кінетычнай энергіі цела:

$$K = \frac{mv^2}{2}.$$

Звярніце ўвагу, што павелічэнне скорасці ў 2 або 3 разы прыводзіць да ўзрастання энергіі ў 4 або 9 разоў, аб чым павінны пастаянна памятаць пешаходы і аўтамабілісты!

Успомніце, што ўсякі рух адносны, а паколькі кінетычная энергія залежыць ад скорасці, то значэнне кінетычнай энергіі адноснае. Так, калі мы едзем у аўтобусе, то адносна самога аўтобуса мы нерухомыя, а значыць, не валодаем кінетычнай энергіяй, але мы маем і скорасць, і кінетычную энергію адносна дрэў, дамоў, міма якіх праязджаем.

Галоўныя вывады

1. Кінетычная энергія выражае здольнасць цела, якое рухаецца, выконваць работу.
2. Кінетычная энергія вымяраецца ў тых жа адзінках, што і работа, — у джоўлях.
3. Кінетычная энергія цела залежыць ад яго масы і скорасці.
4. Змяніць (павялічыць або паменшыць) кінетычную энергію цела можна толькі шляхам выканання работы (дадатнай або адмоўнай).

Кантрольныя пытанні

1. Ці ўсякае цела валодае кінетычнай энергіяй?
2. Кінетычная энергія цела $K = 2$ Дж. Што гэта азначае?
3. Што адбываецца з кінетычнай энергіяй цела пры дзеянні сілы, накіраванай процілегла руху?
4. Чаму небяспечна язда з вялікай скорасцю? Да чаго прыводзіць павелічэнне скорасці цела ў 4 разы?
5. Ці валодае кінетычнай энергіяй будынак вашай школы?

Прыклад рашэння задачы

Скорасць грузанага аўтамабіля масай $m = 4,0$ т павялічылася ад $v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{г}}$ да $v_2 = 54 \frac{\text{км}}{\text{г}}$. Вызначце работу, якую выканала пры гэтым сіла цягі, развіваемая рухавіком аўтамабіля.

Дадзена:

$$m = 4,0 \text{ т} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{г}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 54 \frac{\text{км}}{\text{г}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$A = ?$

Рашэнне

Каб павялічыць кінетычную энергію ад $K_1 = \frac{mv_1^2}{2}$ да $K_2 = \frac{mv_2^2}{2}$, сіла цягі павінна была выканаць работу:

$$A = K_2 - K_1; A = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2);$$

$$A = \frac{4,0 \cdot 10^3 \text{ кг}}{2} \left(225 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right) = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Адказ: $A = 2,5 \cdot 10^5$ Дж.

Практыкаванне 11

1. Якой кінетычнай энергіяй валодае птушка масай $m = 80$ г, што ляціць са скорасцю $v = 18 \frac{\text{км}}{\text{г}}$?

2. Чаму роўна кінетычная энергія аўтамабіля масай $m = 1,0$ т, які праяжджае за кожную мінуту руху шлях $s = 1,2$ км?

3. У колькі разоў адрозніваецца кінетычная энергія кулі масай $m_1 = 10$ г, якая ляціць са скорасцю $v_1 = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, і малатка масай $m = 0,60$ кг, які мае ў момант удару аб цвік скорасць $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

4. Якую кінетычную энергію набываюць санкі, разганяемыя са стану спакою сілай $F = 30$ Н на шляху $s = 5,0$ м? Ці трэба для рашэння ведаць масу санак? Чаму?

5. Вызначце масу кулі, якая валодае кінетычнай энергіяй $K = 800$ Дж пры скорасці руху $v = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

6. Пры разгоне аўтамабіля масай $m = 2,0$ т са стану спакою да скорасці $v = 36 \frac{\text{км}}{\text{г}}$ сіла цягі выканала работу $A = 120$ кДж. Якую работу выканала за гэты час сіла трэння?



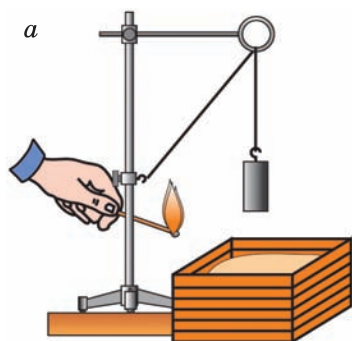
7. Чаму кінетычная энергія разганяемага цела не можа дасягнуць бесканечна вялікага значэння?



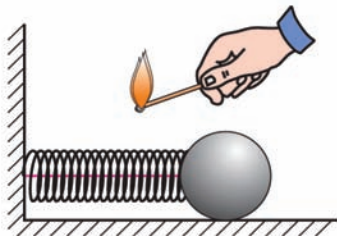
8. Кардонная скрынка масай $m = 0,40$ кг, падаючы з вышыні $h = 10$ м, дасягнула скорасці $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вызначце сярэдняе значэнне сілы супраціўлення паветра. Каэфіцыент g прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

§ 19. Патэнцыяльная энергія

Пры разгоне любога цела (шайбы, ракеты, транспартнага сродку) у гэтага цела ўзнікае здольнасць выканаць механічную работу — у цела з'яўляецца кінетычная энергія. Ці валодаюць такой здольнасцю нерухомыя целы?



б



Мал. 107

Правядзём два нескладаныя доследы. Падымем і замацуем на нітцы над скрытай з пяском гіру (мал. 107, а). Паміж упорам і шарыкам змесцім папярэдне сціснутую і звязаную ніткай спружыну (мал. 107, б). Абодва целы (гіра і спружына) нерухомыя ($v = 0$) і не валодаюць кінетычнай энергіяй. Але і ў гіры, і ў спружыны ёсць магчымасць выканаць работу, для гэтага дастаткова ў абодвух выпадках перапаліць нітку! У фізіцы гавораць, што абодва целы (паднятая гіра, сціснутая спружына) валодаюць пэўнай *патэнцыяльнай энергіяй* (ад лац. *potentia* — схаваная здольнасць), г. зн. яны здольныя выканаць работу. Гэту энергію, як і кінетычную, вымяраюць у тых жа адзінках, што і работу (джоўлях у СІ).

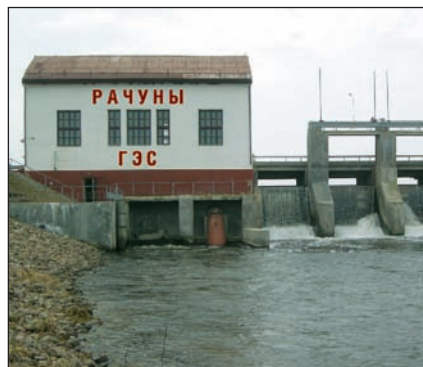


Мал. 108

Важна разумець, што патэнцыяльная энергія не з'яўляецца сама па сабе. У праведзеных доследах гіра была паднята над сталом, спружына была сціснута нейкай сілай. Значыць, каб змяніць узаемадзейнічанне цел (гіры і стала, а больш дакладна, гіры і Зямлі) або частак цела (віткоў спружыны), неабходна *выканаць работу*. Целы, паказаныя на малюнку 108, ужо валодаюць патэнцыяльнай энергіяй. У лука яна выклікана змяненнем размяшчэння дрэўка і цецівы, у мышалоўкі — закручваннем спружыны, у трампліна — прагінам (дэфармацыяй) дошкі. З гэтых і іншых прыкладаў вынікае, што **патэнцыяльная энергія — гэта энергія, абумоўленая ўзаемным размяшчэннем цел, якія ўзаемадзейнічаюць, або частак цела.**

Абазначаецца патэнцыяльная энергія літарай *П*.

Менавіта дзякуючы патэнцыяльнай энергіі сціснута (закручана) спружына рухаецца механічныя цацкі. Патэнцыяльная энергія паднятай з дапамогай плаціны вады прымушае працаваць гідроэлектрастанцыі (мал. 109).



Мал. 109

Галоўныя вывады

1. Нерухомяя целы (сістэма цел) могуць валодаць здольнасцю выконваць механічную работу, а значыць, валодаць патэнцыяльнай энергіяй.

2. Значэнне патэнцыяльнай энергіі залежыць ад узаемнага размяшчэння цел (частак цела), што ўзаемадзейнічаюць.

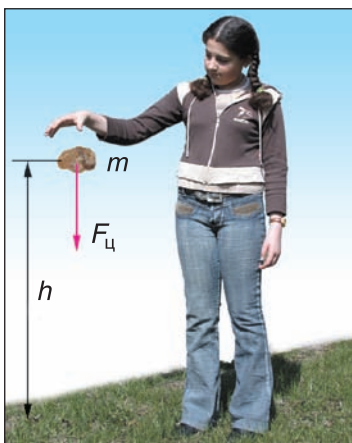
3. Патэнцыяльная энергія змяняецца толькі пры выкананні работы.

Кантрольныя пытанні

1. Што характарызуе патэнцыяльная энергія?
2. Як надаць целу (сістэме цел) патэнцыяльную энергію?
3. У якіх адзінках у СІ вымяраецца патэнцыяльная энергія? Чаму?
4. Як разумець фразу: «Патэнцыяльная энергія сціснутае пружыны $P = 2$ Дж»?
5. Якімі відамі энергіі валодае мяч, які: а) коціцца па гарызантальнай паверхні Зямлі; б) засеў у галінах дрэва; в) пралятае над валебольнай сеткай?

§ 20. Разлік патэнцыяльнай энергіі

Кінетычная энергія цела, якая залежыць ад яго масы і скорасці, выражаецца формулай $K = \frac{mv^2}{2}$. Гэта формула справядлівая і



Мал. 110

для вялікай планеты, што імчыцца па арбіце вакол Сонца, і для нябачнага вокам атама. Ці існуе адзіная формула для разліку патэнцыяльнай энергіі?

Разгледзім асобна два выпадкі: **патэнцыяльную энергію прыцяжэння** паднятых над паверхняй Зямлі цел і **патэнцыяльную энергію дэфармаваных цел**.

У першым выпадку формулу для разліку патэнцыяльнай энергіі лёгка вывесці. Калі цела масай m паднята адносна Зямлі на вышыню h (мал. 110), то пры яго па-

дзенні сіла цяжару $F_{\text{ц}} = gm$ можа выканаць работу:

$$A_{\text{ц}} = F_{\text{ц}} h = gmh.$$

Гэта і ёсць патэнцыяльная энергія паднятага цела:

$$P = gmh.$$

Значэнне патэнцыяльнай энергіі **адноснае**. Так, адносна падлогі гэта энергія для сваяцільні (мал. 111) масай $m = 1,0$ кг роўна:

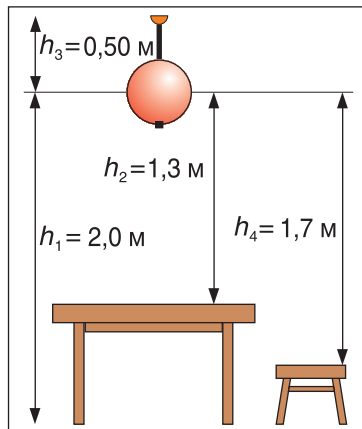
$$P_1 = gmh_1 = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \text{ кг} \cdot 2,0 \text{ м} \approx 20 \text{ Дж}.$$

Адносна паверхні стала яна роўна:

$$P_2 = gmh_2 = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \text{ кг} \cdot 1,3 \text{ м} \approx 13 \text{ Дж}.$$

Таму, прыводзячы значэнне патэнцыяльнай энергіі, неабходна называць узровень, адносна якога яна зададзена: **нулявы ўзровень патэнцыяльнай энергіі** (паверхня падлогі, стала, столі і г. д.).

Больш складана з разлікам патэнцыяльнай энергіі дэфармаванага цела. Мы можам расцягнуць або сціснуць спружыну, выгнуць або закруціць яе (мал. 112) — патэнцыяльная энергія ў спружыны будзе ў любым выпадку. Але разлік яе прыйдзеца весці па розных формулах, аб чым вы даведаецеся ў 9-м класе. Не прыводзячы гэтых формул, адзначым толькі, што ў кожнай з іх будзе прысутнічаць велічыня дэфармацыі (змяненне даўжыні, прагін або вугал закручвання).



Мал. 111



Мал. 112

Галоўныя вывады

1. Патэнцыяльная энергія прыцяжэння цела да Зямлі залежыць ад масы цела, вышыні яго пад'ёму над нулявым узроўнем энергіі.
2. Значэнне патэнцыяльнай энергіі залежыць ад выбару нулявога ўзроўню энергіі.
3. Патэнцыяльная энергія дэфармаванага цела залежыць ад велічыні дэфармацыі.

Кантрольныя пытанні

1. Ад чаго залежыць значэнне патэнцыяльнай энергіі цела, якое знаходзіцца ў полі прыцягнення, і дэфармаванага цела?
2. Што такое нулявы ўзровень патэнцыяльнай энергіі?
3. Ці можа патэнцыяльная энергія цела быць адначасова роўна нулю і 5 Дж?
4. Ці аднолькавыя патэнцыяльныя энергіі паднятых на аднолькавую вышыню цел на Зямлі і на Месяцы?
5. Чаму роўна патэнцыяльная энергія паказанай на малюнку 111 свяцільні адносна сядзення табурэткі? Столі?



Прыклад рашэння задачы

Парафінавы кубік з даўжынёй канта $a = 10$ см ляжыць на сталё на вышыні $h_1 = 0,80$ м ад падлогі. Вызначце патэнцыяльную энергію кубіка адносна паверхняў падлогі і стала. Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$a = 10 \text{ см}$$

$$h_1 = 0,80 \text{ м}$$

$$\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

(з Дадатку 3)

$$P_1 \text{ — ?}$$

$$P_2 \text{ — ?}$$

Рашэнне

Патэнцыяльная энергія кубіка адносна паверхні падлогі (мал. 113):

$$P_1 = gm(h_1 + 0,5a).$$

Маса кубіка $m = \rho V$, аб'ём $V = a^3$, тады:

$$P_1 = g\rho a^3(h_1 + 0,5a);$$

$$P_1 = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м}^3 \cdot 0,85 \text{ м} = 7,7 \text{ Дж}.$$

Патэнцыяльная энергія кубіка адносна паверхні стала:

$$P_2 = g\rho a^3 h_2; \quad h_2 = \frac{a}{2}; \quad P_2 = \frac{g\rho a^3 a}{2};$$

$$P_2 = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times \\ \times 0,001 \text{ м}^3 \cdot 0,05 \text{ м} = 0,45 \text{ Дж}.$$

Адказ: $P_1 = 7,7 \text{ Дж}$; $P_2 = 0,45 \text{ Дж}$.

Практыкаванне 12

1. Расцягнутая спружына валодае патэнцыяльнай энергіяй $P = 2 \text{ Дж}$. Што гэта азначае?

2. Кропля дажджу масай $m = 60 \text{ мг}$ падае з пастаяннай скорасцю $v = 10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Знайдзіце яе кінетычную і патэнцыяльную энергію на вышыні $h = 200 \text{ м}$ ад паверхні Зямлі. Каэфіцыент g у гэтай і наступных задачах прыміце роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

3. Мяч масай $m = 0,20 \text{ кг}$, кінуты вертыкальна ўверх, падняўся на вышыню $h = 20 \text{ м}$. Вызначце кінетычную і патэнцыяльную энергію мяча ў верхнім пункце траекторыі.

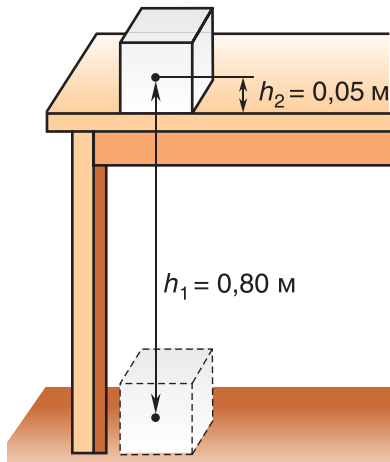
4. Арол валодае патэнцыяльнай энергіяй $P = 4 \text{ кДж}$ на вышыні $h = 0,1 \text{ км}$ над паверхняй Зямлі. Чаму роўна маса арла?

5. Вызначце змяненне кінетычнай і патэнцыяльнай энергіі парашутыста масай $m = 70 \text{ кг}$, які спускаецца з пастаяннай скорасцю $v = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ на працягу прамежку часу $t = 5,0 \text{ с}$.

6. Якой патэнцыяльнай энергіяй валодае $1,0 \text{ м}^3$ вады горнай ракі з вышынёй падзення вады $h = 320 \text{ м}$? Параўнайце гэту энергію з кінетычнай энергіяй аўтамабіля масай $m = 10 \text{ т}$, які мае скорасць $v = 54 \frac{\text{км}}{\text{г}}$.



7. Прамавугольны склеп глыбінёй $h = 2,20 \text{ м}$ даверху запоўнены бульбай, маса якой $m = 6,00 \text{ т}$. Якую найменшую работу трэба выканаць, каб выгрузіць бульбу са склепа?



Мал. 113

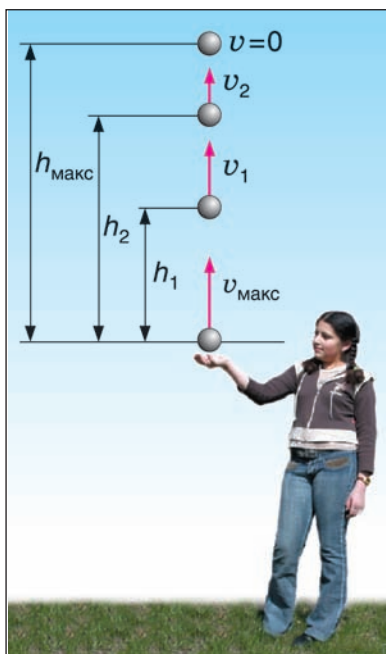
§ 21. Закон захавання механічнай энергіі

У механіцы энергію мы прыпісваем тым цэлам, якія або ўжо рухаюцца, або маюць патэнцыяльную магчымасць рухацца, г. зн. здольныя выканаць работу. Такім чынам, кінетычная і патэнцыяльная энергія — гэта два віды механічнай энергіі. Ці звязаны адзін з адным гэтыя два віды энергіі?

Прасочым за рухам кінутага ўверх металічнага шарыка (мал. 114). Сіла дзеяння рукі ў ніжнім пункце траекторыі надае яму кінетычную энергію. Шарык рухаецца ўверх. Скорасць яго руху, а значыць, і кінетычная энергія памяншаюцца. Але ці знікае кінетычная энергія бяспследна? Падымаючыся ўсё вышэй, шарык набывае ўсё большую патэнцыяльную энергію (успомніце: $P = gmh$). У верхнім пункце пад'ёму кінетычная энергія шарыка роўна нулю, а патэнцыяльная — максімальная! У дадзеным прыкладзе ад-

бываецца **ператварэнне** энергіі аднаго віду (кінетычнай) у другі (патэнцыяльную). Пры вяртанні шарыка назад зноў будзе адбывацца ператварэнне энергіі: з памяншэннем вышыні (і патэнцыяльнай энергіі) павялічваецца скорасць руху шарыка (і кінетычная энергія).

Паколькі металічны шарык невялікі, то сіла супраціўлення паветра пры яго руху малая ў параўнанні з сілай цяжару. Праводзячы вымярэнні, можна паказаць, што пры адсутнасці супраціўлення паветра кінуты ўверх шарык вяртаецца ў пункт кідання практычна з такой жа скорасцю, а значыць, і кінетычнай энергіяй, якія ён меў у момант кідання.



Мал. 114

З гэтага і іншых падобных доследаў вынікае вельмі важны вывад: роўныя не толькі канечная і пачатковая энергія, але **поўная механічная энергія цела (сістэмы цел), роўная суме кінетычнай і патэнцыяльнай энергіі ($E = K + P$), захоўваецца пастаяннай**. Проста пры пад'ёме шарыка адзін від энергіі ($K = \frac{mv^2}{2}$) памяншаецца, а другі ($P = gmh$) — узрастае, а пры спуску адбываецца адваротнае. Дадзенае сцверджанне аб пастаянстве механічнай энергіі ў фізіцы называюць **законам захавання механічнай энергіі**.



Мал. 115

Калі сілы трэння або супраціўлення нельга не ўлічваць, гэты закон не выконваецца. Заменім у доследзе металічны шарык на пенапластавы брусок (мал. 115) (або камяк ваты). Мы ўбачым, што нават пры пачатковай скорасці, большай за скорасць металічнага шарыка, ён не падымецца на тую ж вышыню і вернецца назад з малой скорасцю! Памяншаецца кінетычная энергія шайбы, што рухаецца па гарызантальным лёдзе, але патэнцыяльная энергія ўзамен не з'яўляецца. За кошт кінетычнай энергіі шайбы выконваецца работа супраць сіл супраціўлення.

У заключэнне адзначым, што з'яву ператварэння энергіі з аднаго віду ў другі чалавек навучыўся выкарыстоўваць у практычных мэтах. Энергія падаючай вады прыводзіць у дзеянне вадзяныя млыны і гідраэлектрастанцыі. У апошнія дзесяцігоддзе ў Беларусі паспяхова рэалізуецца дзяржаўная праграма выкарыстання энергіі рэк. Важная роля ў ёй адводзіцца такім рэкам, як Заходняя Дзвіна і Нёман.

Кінетычную энергію ветру чалавек пачаў выкарыстоўваць спачатку з дапамогай паруса, затым у ветраных млынах (гл. мал. 35). У апошнія гады ў нашай краіне пачата будаўніцтва ветраэлектрастан-



Мал. 116

цый (мал. 116). Яны унікальныя тым, што не робяць ніякага шкоднага ўздзеяння на навакольнае асяроддзе. У многіх краінах паспяхова выкарыстоўваюць энергію прыліваў і адліваў вады мораў і акіянаў. Там створаны прыліўныя электрастанцыі.

Галоўныя вывады

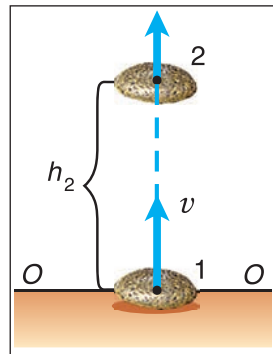
1. Кінетычная і патэнцыяльная энергія ўзаемаператваральныя.
2. Пры адсутнасці сіл трэння і супраціўлення руху поўная механічная энергія цела (сістэмы цел) захоўваецца.
3. Закон захавання механічнай энергіі не выконваецца, калі сілы супраціўлення руху нельга не ўлічваць.

Кантрольныя пытанні

1. Што называецца механічнай энергіяй цела (сістэмы цел)? Поўнай механічнай энергіяй?
2. Больш правільна гаварыць аб механічнай энергіі паднятага цела ці аб энергіі сістэмы «цела — Зямля»?
3. У чым сутнасць закону захавання механічнай энергіі? Ці заўсёды ён строга выконваецца?
4. Чаму ў доследзе мы выкарыстоўвалі металічны шарык? Металу з якой шчыльнасцю тут аддаецца перавага? Чаму?

Прыклад рашэння задачы

Камень кінулі вертыкальна ўверх са скорасцю $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На якой вышыні ад пункта кідання кінетычная энергія каменя будзе ў 4 разы меншая за яго патэнцыяльную энергію? Супраціўленне руху каменя не ўлічваць. Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



Мал. 117

Дадзена:

$$v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$K_2 = 0,25P_2$$

h_2 — ?

Рашэнне

За нулявы ўзровень прыем узровень $O — O$, які праходзіць праз пункт кідання каменя (мал. 117).

Тады поўная механічная энергія каменя ў пункце кідання 1:

$$E_1 = K_{\text{max}} (P_1 = 0).$$

Поўная механічная энергія каменя ў пункце 2:

$$E_2 = P_2 + K_2 = E_1, \text{ або } K_{\text{max}} = P_2 + K_2.$$

Паводле ўмовы $K_2 = 0,25P_2$.

Значыць,

$$\frac{mv^2}{2} = 1,25P_2 = 1,25gmh_2; v^2 = 2,5gh_2;$$

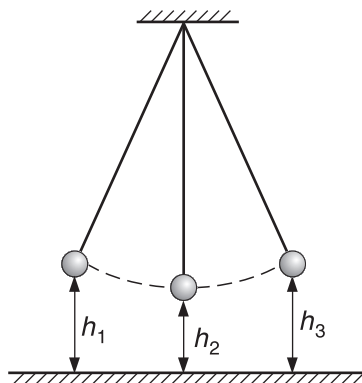
$$h_2 = \frac{v^2}{2,5g}; h_2 = \frac{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2,5 \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 16 \text{ м.}$$

Адказ: $h_2 = 16 \text{ м.}$

Практыкаванне 13

1. Апішыце ператварэнні энергіі пры ваганні падвешанага на нітцы шара (мал. 118).

2. Ці захоўваецца поўная механічная энергія пры: а) падзенні мяча з невялікай



Мал. 118

вышыні; б) падзенні мяча з вялікай вышыні; в) спуску парашутыста з раскрытым парашутам?

3. Калі камень масай $m = 0,20$ кг кінуць вертыкальна ўверх са скорасцю $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, то якой максімальнай вышыні ён можа дасягнуць? Супраціўленне паветра не ўлічваць. Каэфіцыент g у дадзенай і наступных задачах лічыць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. З балкона дома з вышыні $h = 10$ м зваліўся гумаваы дыванок масай $m = 0,50$ кг. Скорасць яго руху ля паверхні зямлі была роўна $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Ці захавалася механічная энергія? Чаму? Рашыце задачу, не выкарыстоўваючы ўсіх даных.

5. Яблык масай $m = 0,30$ кг кінуты вертыкальна ўверх са скорасцю $v = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вылічыце яго поўную, кінетычную і патэнцыяльную энергію пры пад'ёме на вышыню $h = 1,0$ м. Супраціўленне паветра не ўлічваць.

6. Камень, кінуты вертыкальна ўверх, дасягнуў вышыні $h = 20$ м. На якую вышыню ён падыецца пры наданні яму ў 2 разы большай пачатковай скорасці?

7. Якой патэнцыяльнай энергіяй валодаеце вы, стоячы на лыжах на вяршыні гары вышынёй $h = 20$ м? З якой скорасцю вы б рухаліся па гарызантальным участку ля падэшвы гары, калі б уся патэнцыяльная энергія перайшла ў кінетычную?



8. Цела кінулі з паверхні Зямлі вертыкальна ўверх са скорасцю $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На якой вышыні ад паверхні Зямлі скорасць тела паменшыцца ў 2 разы? Супраціўленне паветра не ўлічваць.

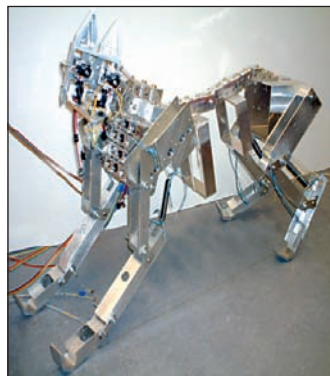


9. Ці аднолькавая скорасць вылету шарыка са sprужыннага пісталета, калі ствол яго ўстанавіць: а) гарызантальна; б) вертыкальна ўверх?

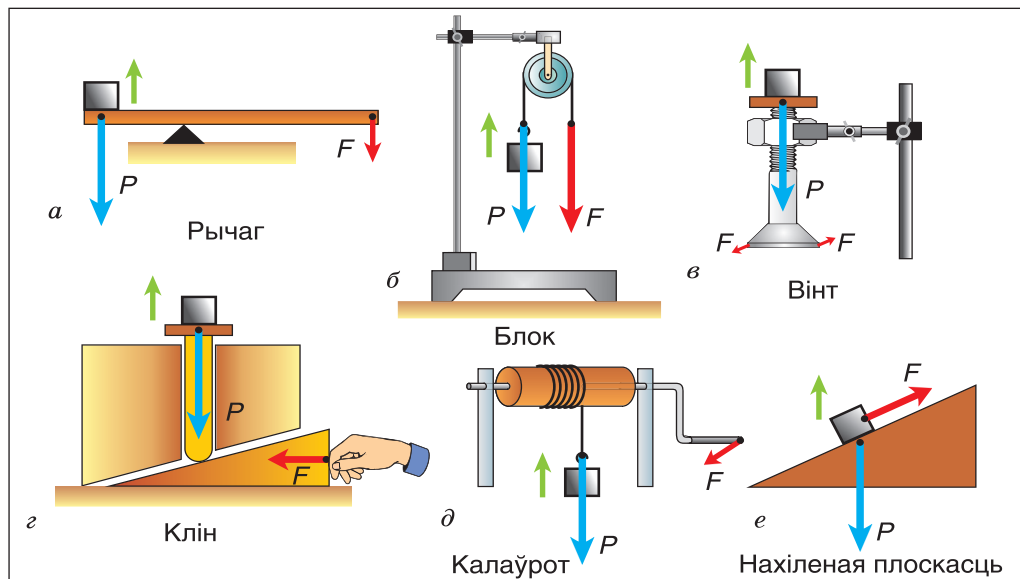
§ 22. Простыя механізмы

Наведайце цэх сучаснага завода або фабрыкі і паназірайце, як працуюць машыны. Яны, як разумныя істоты, прасуюць, гнуць, рэжуць вялікія металічныя лісты, лічаць, сартуюць, узважваюць і ўпакоўваюць вырабы. Гэтыя велізарныя і маленькія машыны-аўтаматы, машыны-робаты працуюць хутчэй і больш дакладна, чым чалавек.

Калі разгледзець будову любога складанага механізма (мал. 119), то не без здзіўлення можна заўважыць, што яго механічная частка складаецца са спалучэнняў толькі шасці відаў **простых механізмаў**: *рычагоў, блокаў, вінтоў, кліноў, калаўротаў і нахіленых плоскасцей* (мал. 120). Сякера, лапата, цвікадзёр, мясарубка, шчypцы для арэхаў, нажніцы, нож для адкрывання бляшанак — прыклады распаўсюджаных у быце простых механізмаў.



Мал. 119



Мал. 120



Мал. 121



Мал. 122

Што такое простыя механізмы?

Няхай груз вагою P неабходна падняць на вышыню h . Для гэтага можна выкарыстаць любое з шасці паказаных на малюнку 120 прыстасаванняў. Ва ўсіх шасці выпадках дзеянне сілы F прыведзе да пад'ёму цела. Але гэта сіла зусім не накіравана ўверх і за выключэннем аднаго выпадку (гл. мал. 120, *е*) не прыкладзена непасрэдна да падымаемага цела. Акрамя таго, што вельмі важна, яна ва ўсіх выпадках (акрамя прадстаўленага на мал. 120, *б*) меншая за вагу падымаемага цела. Значыць, выкарыстанне простых механізмаў дазваляе атрымаць выйгрыш у сіле.

Простыя механізмы служаць не толькі для пад'ёму цела. Вы выкарыстоўваеце іх, калі рэжаце нажніцамі паперу або бляху, колеце дровы (мал. 121), вяслуеце ў лодцы і нават калі гушкаецца на арэлях. Больш таго, гэтыя механізмы ёсць нават у нашым целе.

Простыя механізмы выкарыстоўваліся чалавекам з найстаражытнейшых часоў. Уяўленне кожнага турыста, які наведваў востраў Пасхі, ашаламляюць старажытныя каменныя статуі велізарных памераў (мал. 122), размешчаныя па ўсім востраве. Пры стварэнні гэтых цяжкіх каменных статуй (а на адной з іх толькі капаюш мае масу каля 3 т), іх пад'ёме ў вертыкальнае становішча без сумнення выкарыстоўваліся простыя механізмы.

Галоўныя вывады

1. Простыя механізмы служаць для пераўтварэння механічнага дзеяння на цела, дазваляючы змяніць пункт прыкладання сілы і яе напрамак.
2. Простыя механізмы могуць даць выйгрыш у сіле.
3. Рычаг, блок, калаўрот, клін, нахіленая плоскасць і вінт ляжаць у аснове канструкцый любых механічных устройстваў.

Кантрольныя пытанні

1. Для чаго прызначаны простыя механізмы?
2. Як разумець выраз: «Выйгрыш у сіле»?
3. Аб якім простым механізме ідзе гаворка ў прыведзеным у тэксце прыкладзе: колка дроў (гл. мал. 120, 121)?

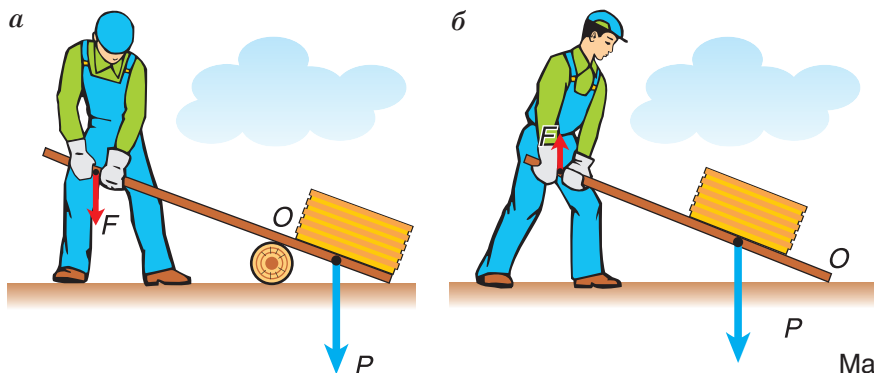
§ 23. Рычаг. Умова раўнавагі рычага

Адным з найбольш распаўсюджаных простых механізмаў з'яўляецца рычаг. Менавіта ён дазваляе малой сілай ураўнаважыць вялікую. Рычагі прысутнічаюць у многіх устравках. Што ж такое рычаг? Як атрымаць выйгрыш у сіле, карыстаючыся рычагам?

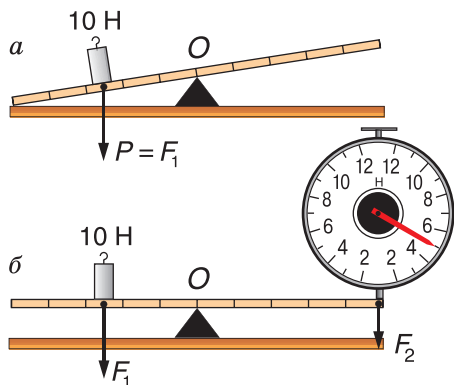
Рычагом з'яўляецца любое цвёрдае цела, якое можа паварочвацца вакол нерухомай восі ці апоры. На малюнку 123 паказаны два віды рычагоў: *першага роду*, дзе сілы размешчаны з розных бакоў ад апоры O (гл. мал. 123, а), і *другога роду*, дзе сілы прыкладзены з аднаго боку ад апоры O (гл. мал. 123, б).

Пры якіх умовах рычаг знаходзіцца ў раўнавазе (спакоі або раўнамерным руху)?

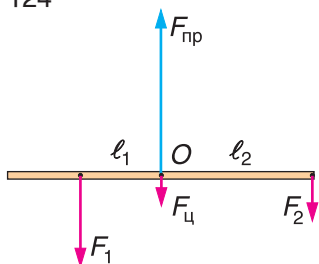
Разгледзім дослед. Рычаг — лінейку даўжынёй 1 м — змесцім на нерухомую апору, якая знаходзіцца роўна пасярэдзіне (пункт O). На адлегласці $l_1 = 0,25$ м ад апоры паставім гіру, вага якой $P = 10$ Н. Канец рычага пад дзеяннем вагі гэтай гіры $P = F_1 = 10$ Н апусціцца



Мал. 123



Мал. 124



Мал. 125

(мал. 124, а). Націснем на свабодны канец рычага дынамометрам і падымем гіру, устанавіўшы рычаг гарызантальна. Дынамометр пакажа сілу $F_2 \approx 5$ Н (мал. 124, б). Чаму ж няроўныя сілы, якія прыкладзены да рычага, утрымліваюць яго ў раўнавазе? Таму што вынік дзеяння сілы на рычаг вызначаецца не толькі яе модулем, але і даўжынёй плеча.

Адлегласць ад пункта апоры да прамой, уздоўж якой дзейнічае сіла, называецца плячом гэтай сілы (дадзеная адлегласць — гэта даўжыня перпендыкуляра ад пункта апоры да прамой).

Пакажам схему разгледжанага доследу (мал. 125). Акрамя сіл F_1 і F_2 , плечы якіх роўны l_1 і l_2 , на рычаг дзейнічаюць яшчэ дзве: сіла цяжару рычага $F_{\text{ц}}$ і сіла пругкасці апоры $F_{\text{пр}}$. На малюнку відаць, што плечы гэтых сіл роўны нулю, і яны на раўнавагу рычага не ўплываюць. Параўнаем сілы F_1 і F_2 і іх плечы l_1 і l_2 . Сіла F_2 у 2 разы меншая за сілу F_1 , а яе плячо l_2 у 2 разы большае за плячо сілы F_1 .

А калі б плячо сілы F_2 павялічылася ў 10 або 20 разоў, то сіла F_2 у параўнанні з F_1 паменшылася б у 10 або 20 разоў. **Чым большае плячо, тым меншая сіла**, з дапамогай якой можна падняць груз, што ляжыць на процілеглай ад апоры частцы рычага. Занясём вынікі доследу ў табліцу 3. Туды ж занясём і значэнне здабытку Fl .

Табліца 3

F_1 , Н	l_1 , м	F_2 , Н	l_2 , м	$M_1 = F_1 l_1$, Н · м	$M_2 = F_2 l_2$, Н · м
10	0,25	5	0,50	2,5	2,5

Здабытак модуля сілы на яе плячо — новая фізічная велічыня, якая называецца **момантам сілы** (абазначаецца літарай M):

$$M = Fl.$$

Вымяраецца момант сілы ў **ньютан-метрах** ($\text{Н} \cdot \text{м}$). З даных табліцы вынікае, што ўмовай раўнавагі рычага з'яўляецца роўнасць момантаў сіл: $M_1 = M_2$. Наглядна запішам гэту ўмову для выпадку дзвюх сіл, якія ствараюць моманты, у выглядзе:

$$\text{СІЛА}_1 \cdot \text{плячо}_1 = \text{сіла}_2 \cdot \text{ПЛЯЧО}_2,$$

або

$$F_1 l_1 = F_2 l_2,$$

адкуль:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Рычаг знаходзіцца ў раўнавазе пры ўмове, што прыкладзеныя да яго сілы адваротна прапарцыянальныя даўжыням іх плеч.

Сіла F_1 паварочвае рычаг супраць руху гадзіннікавай стрэлкі (пераканайцеся ў гэтым, прыняўшы дынамометр), сіла ж F_2 — па руху гадзіннікавай стрэлкі.

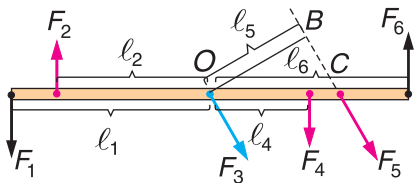
Сфармулюем умову раўнавагі рычага пры дзеянні на яго толькі дзвюх, што ствараюць моманты, сіл — F_1 і F_2 .

Рычаг пад дзеяннем дзвюх сіл, што ствараюць моманты, знаходзіцца ў раўнавазе ў тым выпадку, калі момант сілы, якая верціць рычаг па руху гадзіннікавай стрэлкі, роўны моманту сілы, якая верціць рычаг супраць руху гадзіннікавай стрэлкі:

$$M_1 = M_2.$$

Усе зробленыя вывады справядлівыя і для рычага II роду.

А цяпер пытанне для тых, хто захапляецца фізікай. Ці магчыма раўнавага рычага, калі на яго дзейнічаюць некалькі сіл (больш за дзве)? Так, магчыма. Не-



Мал. 126

абходна знайсці суму момантаў усіх сіл, якія верцяць рычаг па руху гадзіннікавай стрэлкі. На малюнку 126 гэта моманты сіл F_2 , F_4 , F_5 . Прычым плячо l_5 сілы F_5 — не адлегласць OC , а адлегласць OB (найкарацейшая, па перпендыкуляры да прамой CB). Затым неабходна знайсці суму момантаў сіл, што верцяць рычаг супраць руху гадзіннікавай стрэлкі: гэта моманты сіл F_1 і F_6 . Калі гэтыя сумы роўныя паміж сабой, рычаг будзе ў раўнавазе. Але мы забыліся пра сілу F_3 ! Не, не забыліся. Момант яе роўны нулю ($l_3 = 0$), і яна не ўплывае на раўнавагу рычага.

Галоўныя вывады

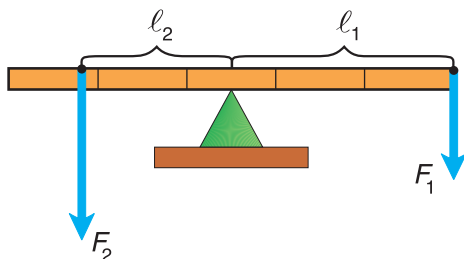
1. Рычаг — гэта любое цвёрдае цела, якое можа паварочвацца адносна нерухомай апоры або восі.
2. Адлегласць ад пункта апоры (восі) да прамой, уздоўж якой дзейнічае сіла, называецца плячом сілы.
3. Рычаг дае выйгрыш у сіле ў столькі разоў, у колькі разоў плячо прыкладаемай сілы большае за плячо вагі ўтрымліваемага грузу.
4. Рычаг знаходзіцца ў раўнавазе пад дзеяннем дзвюх сіл, калі момант сілы, якая верціць рычаг па руху гадзіннікавай стрэлкі, роўны моманту сілы, якая верціць рычаг супраць руху гадзіннікавай стрэлкі.

Кантрольныя пытанні

1. Чым адрозніваюцца адзін ад аднаго рычагі першага і другога роду?
2. Ад чаго залежыць дзеянне сілы, прыкладзенай да цела, якое знаходзіцца на восі (апоры)?
3. Што называецца плячом сілы?
4. Як знаходзіцца момант сілы?
5. Ці можа прыкладзеная да цела сіла мець роўны нулю момант? Калі?
6. Пры якіх умовах рычаг знаходзіцца ў раўнавазе?

Прыклад рашэння задачы

На адным канцы лёгкай лінейкі даўжынёй $l = 100$ см падвешана гіра масай $m_1 = 500$ г. Пасярэдзіне лінейкі ўнізе знаходзіцца апора, адносна якой лінейка можа свабодна паварочвацца. Дзе трэба падвесіць груз масай $m_2 = 750$ г, каб лінейка знаходзілася ў раўнавазе?



Мал. 127

Дадзена:

$$m_1 = 500 \text{ г}$$

$$m_2 = 750 \text{ г}$$

$$l = 100 \text{ см}$$

$$l_1 = 50 \text{ см}$$

$$l_2 = ?$$

Рашэнне

Зробім чарцёж (мал. 127). Паводле ўмовы раўнавагі:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Сілы:

$$F_1 = gm_1; F_2 = gm_2.$$

Тады:

$$gm_1 l_1 = gm_2 l_2.$$

Адкуль:

$$l_2 = \frac{m_1 l_1}{m_2};$$

$$l_2 = \frac{500 \text{ г} \cdot 50 \text{ см}}{750 \text{ г}} = 33 \text{ см}.$$

Адказ: $l_2 = 33$ см.

Практыкаванне 14

1. Гаечныя ключы маюць вялікую даўжыню (мал. 128). Навошта гэта робіцца?

2. Чаму цяжкую сумку лягчэй несці на палцы (мал. 129)?



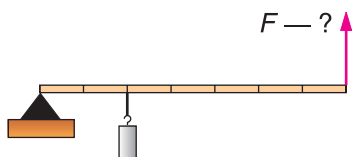
Мал. 128



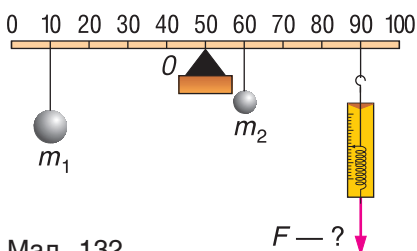
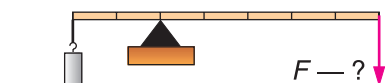
Мал. 129



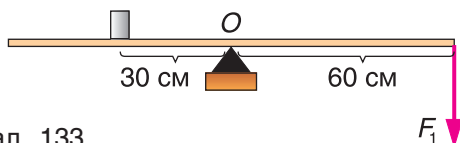
Мал. 130



Мал. 131



Мал. 132



Мал. 133

3. Чым даўжэйшая страла пад'ёмнага крана (мал. 130), тым цяжэйшая процівага. Чаму?

4. Чаму дзвярныя ручкі замацоўваюць на самым краі дзвярэй?

5. Які рычаг (мал. 131) дае большы выйгрыш у сіле? У колькі разоў?

6. Ці можна сілай $F = 50$ Н падняць груз вагой $P = 400$ Н? Як гэта зрабіць?

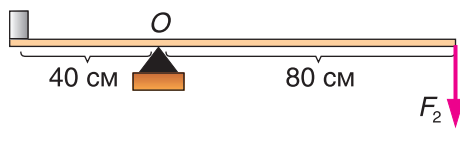


7. Метровая лінейка, якая знаходзіцца на апоры, утрымліваецца ў раўнавазе (мал. 132). Вызначце паказанні дынамометра, калі масы падвешаных грузаў $m_1 = 0,40$ кг, $m_2 = 0,10$ кг. Як змяняцца паказанні дынамометра, калі грузы памяняць месцамі?

8. Два аднолькавыя металічныя стрыжні даўжынёй $l = 120$ см размешчаны, як паказана на малюнку 133. Ці аднолькавыя сілы F_1 і F_2 , неабходныя для ўтрымання ў раўнавазе грузу масай m ?



9. На канцах лёгкага стрыжня даўжынёй $l = 32$ см падвешаны грузы масамі $m_1 = 40$ г і $m_2 = 120$ г. Дзе трэба падперці стрыжань, каб ён быў у раўнавазе?



§ 24. Блокі. Умовы раўнавагі

Часта для пад'ёму і пагрузкі грузаў выкарыстоўваецца прасты блок або сістэма блокаў. Асабліва часта прымяняюцца блокі на будаўнічых пляцоўках, у портах і на складах. Якія бываюць блокі? Як яны пераўтвараюць сілу?

Калі вась блок замацаваная (мал. 134, а), блок называецца *нерухомым*.

Паварот блока ажыццяўляецца вакол восі, якая праходзіць праз пункт O . Які выйгрыш у сіле дае блок?

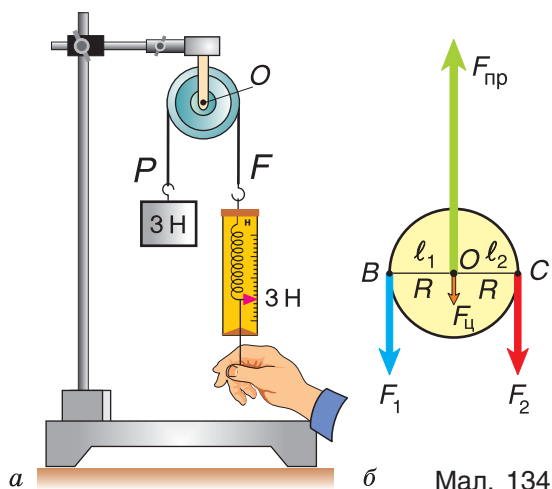
Правядзём дослед. Груз вагой P падвесім да аднаго канца перакінутай цераз блок ніткі (гл. мал. 134, а), а да другога прымацуюем дынамометр. Пры раўнамерным пад'ёме грузу дынамометр пакажа сілу, роўную вазе грузу: $F = 3 \text{ Н}$.

Пакажам схематычна сілы, якія дзейнічаюць на блок (мал. 134, б): сіла пругкасці ніткі F_1 , роўная вазе грузу P ; сіла пругкасці ніткі F_2 , роўная прыкладзенай да дынамометра сіле F ; сіла цяжару, якая дзейнічае на блок, $F_{\text{ц}}$ і сіла пругкасці $F_{\text{пр}}$ восі блока. Плечы сіл $F_{\text{пр}}$ і $F_{\text{ц}}$ і іх моманты роўны нулю. Плечы сіл F_1 і F_2 роўныя паміж сабой як радыусы блока: $l_1 = l_2 = R$.

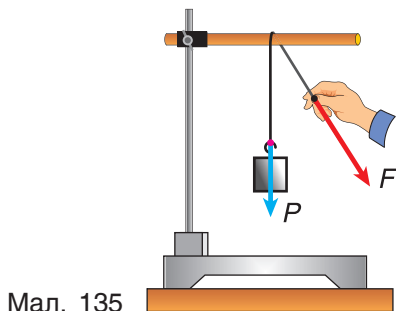
У стане раўнавагі блока моманты сіл F_1 і F_2 павінны быць роўны: $F_1 R = F_2 R$. Такім чынам, $F_1 = F_2$, г. зн. прыкладаемая сіла роўная вазе грузу (гл. мал. 134, а).

Нерухомы блок не дае выйгрышу ў сіле, а толькі мяняе яе напрамак.

Узнікае пытанне: навошта прымяняць блок, калі выйгрышу ў сіле няма? Для пад'ёму грузу можна было б выкарыстаць любую

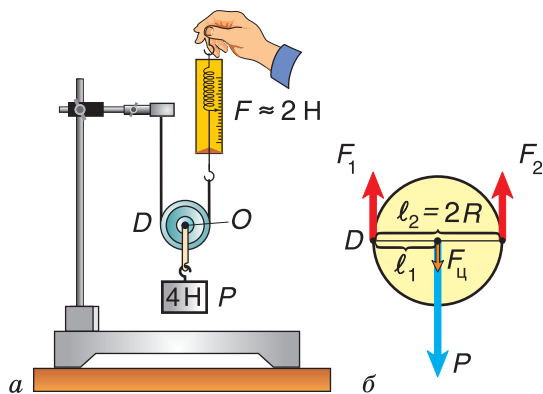


Мал. 134



Мал. 135

перакладзіну (мал. 135). Так, можна, але прайгрышна, паколькі прыйдзеца пераадоляваць сілу трэння слізгання вяроўкі па перакладзіне, якая значна большая за сілу трэння качэння ў падшыпніку блока.



Мал. 136

А ці можа блок усё ж даць выйгрыш у сіле? Разгледзім *рухомы* блок, г. зн. блок, вось якога пры пад'ёме груза рухаецца разам з грузам (мал. 136, *а*). Падвесім да блока груз вагой $P = 4 \text{ Н}$. Адзін канец перакінутай цераз блок ниткі замацуем, а за другі будзем раўнамерна падымаць груз. Дынамометр паказвае, што прыкладаемая да канца ниткі сіла $F \approx 2 \text{ Н}$, г. зн. у

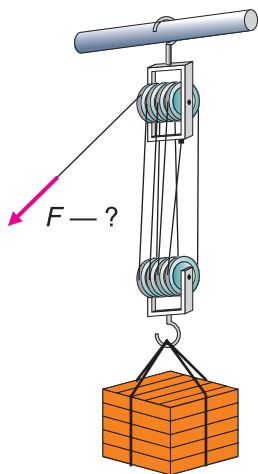
2 разы меншая за вагу груза (гл. мал. 136, *а*). Значыць, рухомы блок дае выйгрыш у сіле прыкладна ў 2 разы. Растлумачым гэты рэзультат.

На блок (мал. 136, *б*) дзейнічаюць вага груза P , сілы пружкасці вяроўак F_1 , F_2 (сіла F_2 роўна сіле F , якая падымае груз) і сіла цяжару блока $F_{\text{ц}}$. Сіла цяжару блока, як правіла, намнога меншая за вагу груза, і яе можна не ўлічваць. Пры руху груза рухомы блок паварочваецца адносна пункта D . Такім чынам, рухомы блок — гэта рычаг II роду. Умова раўнавагі: $M_1 = M_2$. На малюнку 136, *б* відаць, што $M_1 = PR$, $M_2 = F_2 2R$, але $F_2 = F$, тады $PR = F 2R$, або $F = \frac{P}{2}$.

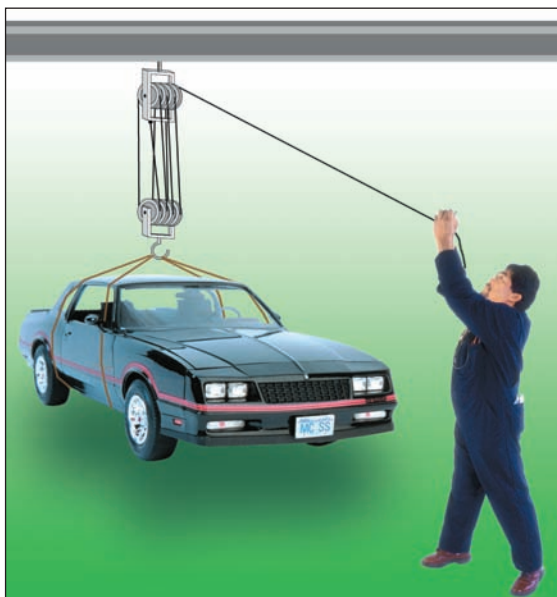
Рухомы блок дае выйгрыш у сіле ў два разы. Яшчэ большы выйгрыш можна атрымаць, выкарыстоўваючы спалучэнне некалькіх рухомах і нерухомах блокаў — *паліспаст* (мал. 137). Паліспасты (толі) шырока выкарыстоўваюць у аўтасервісах для пад'ёму матораў аўтамабіляў. Павялічваючы лік пар з рухомага і нерухомага блокаў, можна рашыць нават неймаверную на першы погляд задачу — падняць невялікі аўтамабіль намаганнямі толькі аднаго чалавека (мал. 138).

Галоўныя вывады

1. Нерухомы і рухомы блокі ўяўляюць сабой разнавіднасці рычага.
2. Нерухомы блок не дае выйгрышу ў сіле, а толькі мяняе яе напрамак.
3. Рухомы блок дае выйгрыш у сіле ў 2 разы (калі не ўлічваць трэнне і сілу цяжару блока).



Мал. 137



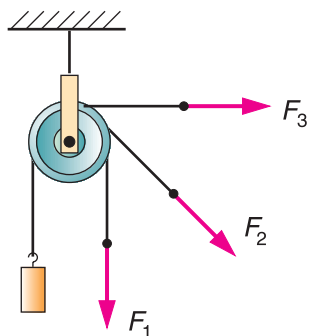
Мал. 138

Кантрольныя пытанні

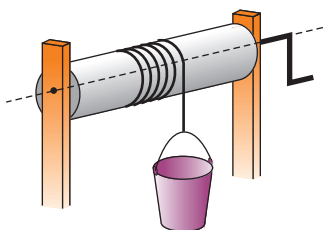
1. Як адносяцца плечы сіл у нерухомым блоку?
2. Ці дае выйгрыш у сіле нерухомы блок? Чаму?
3. Як адносяцца плечы сіл у рухомым блоку?
4. Які выйгрыш у сіле дае рухомы блок?
5. Як адносяцца моманты сіл у блоках?
6. Што такое паліспаст?
7. Які выйгрыш у сіле можна атрымаць, выкарыстоўваючы паліспаст, што змяшчае тры пары з нерухомых і рухомых блокаў?



Практыкаванне 15



Мал. 139



Мал. 140

1. Параўнайце значэнні сіл для пад'ёму цела, паказанага на малюнку 139.

2. Якую сілу трэба прыкладзіць, каб раўнамерна падымаць пліту масай $m = 20$ кг з дапамогай блока: а) нерухомага; б) рухомага (трэнне і масу блока тут і ў наступных задачах не ўлічваць)?

3. Якую работу выконвае сіла F_1 (гл. мал. 139), калі груз масай $m = 5,0$ кг раўнамерна падымаецца на вышыню $h = 40$ см?

4. Якая сіла спатрэбіцца для раўнамернага пад'ёму чыгуннай дэталі аб'ёмам $V = 2,5$ дм³ з дапамогай нерухомага блока? Якую магутнасць неабходна развіць для пад'ёму дэталі са скорасцю $v = 0,40$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$?



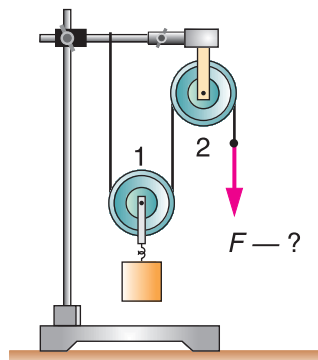
5. На малюнку 140 паказаны агульны выгляд калодзежнага калаўрота і яго выгляд з тарца. Выкарыстоўваючы чарцёж з відарысам прыкладзеных да калаўрота сіл, растлумачце, чаму і ў колькі разоў атрымліваецца выйгрыш у сіле пры карыстанні гэтым механізмам.



6. На малюнку 141 паказана спалучэнне двух блокаў. Які выйгрыш у сіле дае такі механізм? Якая сіла неабходна для пад'ёму грузу вагой $P = 500 \text{ Н}$? Выканайце разлік: а) не ўлічваючы масу блока 1; б) з улікам масы блока 1, роўнай $m = 2,0 \text{ кг}$.



7. Як уплывае на значэнне прыкладаемых сіл сіла цяжару вяроўкі ва ўсіх паказаных на малюнках 139, 140, 141 выпадках?

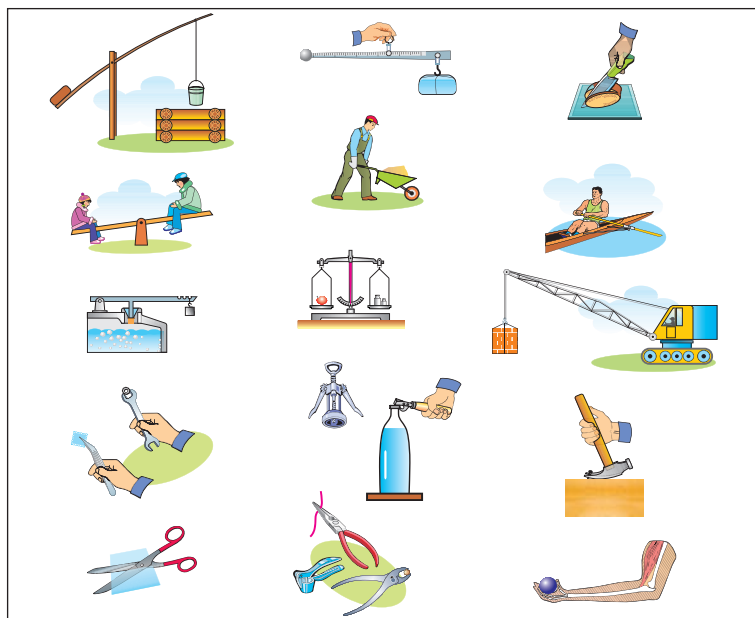


Мал. 141

§ 25. Простыя механізмы ў тэхніцы і быце

Мы ўжо гаварылі ў пачатку раздзела, што любая, нават самая складаная і «разумная», машына змяшчае ў сабе мноства простых механізмаў. Два віды — рычагі і блокі — мы разгледзелі, а з работай астатніх вы пазнаёміцеся ў 9-м класе.

Простыя механізмы рознага віду мы пастаянна выкарыстоўваем у штодзённым жыцці. На малюнку 142 прыведзены розныя інстру-



Мал. 142

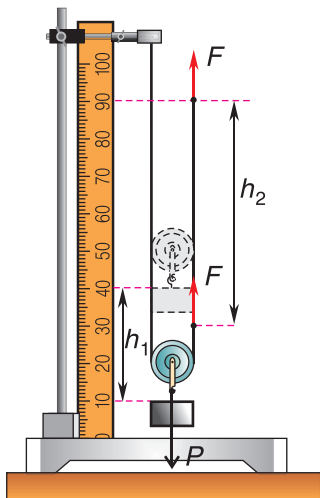
менты і прыстасаванні, якія працуюць як рычагі і блокі. Растлумачце прынцып работы гэтых механізмаў. Назавіце сілы, якія дзейнічаюць на іх, восі або пункты апоры і плечы сіл. Якія з іх даюць выйгрыш у сіле? Пакажыце схематычна ў сшытку сілы, якія дзейнічаюць, і іх плечы для кожнага механізма і вызначце выйгрыш у сіле.

Мы упэўнены, што вы здолееце справіцца з гэтай задачай па-спяхова і прывесці дадаткова свае прыклады выкарыстання простых механізмаў у тэхніцы і ў быце.

§ 26. Закон роўнасці работ для простых механізмаў. Кэфіцыент карыснага дзеяння

Любы просты механізм прызначаны для выканання работы. З дапамогай рычага мы малой сілай змаглі падняць груз, вага якога большая за гэту сілу. Але сіла, якая выконвае работу, была непасрэдна прыкладзена не да грузу, які трэба было падняць, а да рычага.

Рычаг выступаў тут як перадаўнае зв'язно, якое дазваляе атрымаць выйгрыш у сіле. Тое ж самае можна сказаць і пра блокі.



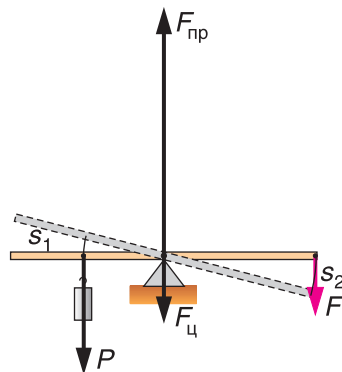
Мал. 143

А ці можна з дапамогай простага механізма атрымаць выйгрыш у рабоце? Інакш кажучы, калі прыкладаемая сіла меншая за вагу грузу, то ці не будзе выкананая ёю работа меншая за работу па пад'ёме грузу без выкарыстання механізма?

Правядзем дослед. Падымем раўнамерна груз вагой P на вышыню h_1 (мал. 143) з дапамогай рухомага блока (сілу цяжару блока і сілу трэння не ўлічваем). Работа прыкладзенай да ніткі сілы F роўна $A_2 = Fh_2$. Вышыня h_2 (гл. мал. 143) у два разы большая за h_1 . Работа па пад'ёме грузу роўна па модулю $A_1 = Ph_1$. Параўнаем работы A_1 і A_2 . Улічым, што сіла F прыкладна ў два разы меншая за

вагу P грузу. Тады $A_2 = \frac{P}{2} \cdot 2h_1 = Ph_1 = A_1$.
Значыць, **работы роўныя**.

Выкарыстанне рухомага блока не дае выйгрышу ў рабоце. Выйграўшы ў 2 разы ў сіле, мы прайгралі ў 2 разы ў шляху. Аналагічна можна падысці да разгляду рычага (мал. 144). Вымераўшы шляхі s_1 і s_2 і вызначыўшы вагу грузу P і сілу F , прыкладзеную да свабоднага канца рычага, можна знайсці работы вагі грузу і сілы F . Гэтыя работы аказваюцца таксама роўнымі.



Мал. 144

Пры выкарыстанні рычага выйгрышу ў рабоце няма. Калі выйгралі ў сіле, то ў столькі ж разоў прайгралі ў шляху.

Ні адзін механізм не дае выйгрышу ў рабоце. Гэта сцверджанне атрымала назву «**Залатое правіла механікі**».

Калі з дапамогай якога-небудзь простага механізма выйграем у сіле, то ў столькі ж разоў прайграем у шляху.

Наглядна гэта можна запісаць у такім выглядзе:

$$\text{СІЛА}_1 \cdot \text{шлях}_1 = \text{сіла}_2 \cdot \text{ШЛЯХ}_2.$$

Ці можна пры параўнанні работ ставіць паміж імі строгую роўнасць? Ці выпадкова мы заўсёды, робячы той ці іншы вывад, папярэджвалі аб тым, што сілу цяжару блока і сілу трэння можна не ўлічваць? Але ж трэнне існуе. Сіла цяжару, якая дзейнічае на блок, няхай нават невялікая, таксама ёсць. Таму сіла, што прыкладаецца да механізма, павінна рэальна выконваць работу, большую за карысную работу па пад'ёме грузу. Работу сілы F , прыкладзенай да механізма, назавём *выкананай*. Карыснай жа з'яўляецца работа па пад'ёме грузу вагой P .

Адносіна $\frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}}$, што паказвае, якую частку ад выкананай з дапамогай механізма работы складае карысная работа, называецца

каэфіцыентам карыснага дзеяння механізма (ККДз) і абазначаецца літарай η (грэч. «эта»).

Паколькі карысная работа заўсёды (падкрэсліваем, заўсёды) меншая за выкананую, то ККДз механізма заўсёды меншы за адзінку. Звычайна ККДз выражаюць у працэнтах:

$$\eta = \frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}} \cdot 100 \, \%.$$

Каб павялічыць ККДз, неабходна паменшыць трэнне і сілу цяжару простага механізма. Тады паменшыцца выкананая работа, наблізіўшыся да карыснай работы, а ККДз будзе імкнуцца да 100 %.

Галоўныя вывады

1. Ні адзін механізм не дае выйгрышу ў рабоце.
2. У колькі разоў выйграём у сіле, у столькі разоў прайграём у шляху.
3. Калі ўлічыць сілу трэння і сілу цяжару, што дзейнічаюць на механізм, то выкананая работа будзе большая за карысную работу.
4. ККДз паказвае, якую частку ад выкананай работы складае карысная работа. ККДз любога механізма меншы за 100 %.

Кантрольныя пытанні

1. Якая работа пры выкарыстанні простага механізма называецца карыснай? Выкананай?
2. Чаму выкананая работа заўсёды большая за карысную?
3. Што называецца каэфіцыентам карыснага дзеяння механізма? Ці можа ККДз быць роўны або большы за 100 %?
4. Што з'яўляецца прычынай, якая не дазваляе атрымаць ККДз, роўны 100 %, пры выкарыстанні нерухомага блока?
5. ККДз якога блока большы: рухомага або нерухомага, калі іх выкарыстоўваць для раўнамернага пад'ёму грузу?
6. Як павысіць каэфіцыент карыснага дзеяння механізма?

Прыклад рашэння задачы

З дапамогай рухомага блока вядро пяску масай $m = 20$ кг падымаюць на вышыню $h = 4,0$ м, прыкладаючы да каната сілу $F = 110$ Н. Вызначце выкананую пры гэтым пад'ёме работу і ККДз блока. Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$h = 4,0 \text{ м}$$

$$F = 110 \text{ Н}$$

$$A_{\text{вык}} — ?$$

$$\eta — ?$$

Рашэнне

ККДз:

$$\eta = \frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}} \cdot 100 \%$$

Пры выкарыстанні рухомага блока — пройгрыш у шляху ў 2 разы, г. зн. $s = 2h$. Выкананая сілай F работа:

$$A_{\text{вык}} = F \cdot s = 2Fh;$$

$$A_{\text{вык}} = 2 \cdot 110 \text{ Н} \cdot 4,0 \text{ м} = 880 \text{ Дж} = 0,88 \text{ кДж}.$$

Карысная работа па пад'ёме грузу:

$$A_{\text{кар}} = gmh;$$

$$A_{\text{кар}} = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 20 \text{ кг} \cdot 4,0 \text{ м} = 800 \text{ Дж} = 0,80 \text{ кДж}.$$

Тады ККДз:

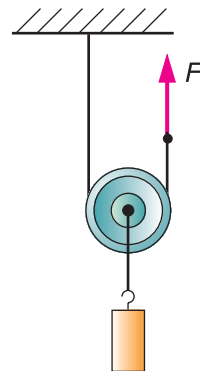
$$\eta = \frac{0,80 \text{ кДж}}{0,88 \text{ кДж}} \cdot 100 \% = 91 \%$$

$$\text{Адказ: } A_{\text{вык}} = 0,88 \text{ кДж}; \eta = 91 \%$$

Практыкаванне 16

1. Патэнцыяльная энергія гіры (мал. 145) пры пад'ёме павялічылася на $\Delta P = 10$ Дж. Выкананая пры гэтым работа: а) $A = 10$ Дж; б) $A < 10$ Дж; в) $A > 10$ Дж? Адказ растлумачце.

2. Для раўнамернага пад'ёму вядра з пяском масай $m = 10$ кг на вышыню $h = 5,0$ м з дапамогай не-



Мал. 145

рухомага блока спатрэбілася сіла $F = 110$ Н. Вызначце карысную і выкананую работу. Знайдзіце ККДз устаноўкі. Ці ўсе даныя патрэбны для вызначэння ККДз? Каэфіцыент g у дадзенай і наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

3. Вызначце карысную і выкананую работу пры пад'ёме грузу (гл. мал. 145) масай $m = 2,0$ кг на вышыню $h = 0,40$ м, калі прыкладзеная сіла $F = 12,5$ Н. Вызначце ККДз устаноўкі.

4. Пры выкарыстанні рычага з даўжынёй плячэй $l_1 = 160$ см і $l_2 = 20$ см груз масай $m = 100$ кг быў падняты на вышыню $h = 5,0$ см з дапамогай сілы $F = 150$ Н. Чаму роўны карысная і выкананая работа і ККДз дадзенага рычага?

5. Пліта масай $m = 120$ кг была раўнамерна паднята з дапамогай пад'ёмнага механізма на вышыню $h = 16$ м за прамежак часу $t = 30$ с. Лічачы ККДз роўным 80 %, вызначце работу і магутнасць, якая развіваецца.

6. Вызначце карысную работу, выкананую за прамежак часу $t = 10$ с, па падыманню грузу кранам з магутнасцю рухавіка $P = 4,0$ кВт і ККДз $\eta = 75$ %.



7. Пры пад'ёме з пастаяннай скорасцю $v = 0,40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ грузу масай $m = 40$ кг з дапамогай рухомага блока на вышыню $h = 12$ м прыкладаемая сіла была роўна $F = 250$ Н. Вызначце ККДз і развіваемую магутнасць. Як змянілася б магутнасць, калі б пры пад'ёме скорасць грузу павялічылася?



8. Пры раўнамерным перамяшчэнні грузу па нахіленай плоскасці атрыманы выйгрыш у сіле ў два разы. Лічачы нахіленую плоскасць гладкай (трэнне адсутнічае), знайдзіце выйгрыш у рабоце, які дае выкарыстанне нахіленай плоскасці, і вугал яе нахілу.



9. Для пад'ёму грузу масай $m = 220$ кг у кузаў грузавога аўтамабіля на вышыню $h = 1,5$ м выкарыстоўваюць дошку даўжынёй $l = 3,0$ м. Груз перамяшчаюць раўнамерна, прыкладаючы паралельна плоскасці дошкі сілу $F = 1,5$ кН. Зрабіце схематычны малюнак да ўмовы задачы. Знайдзіце ККДз гэтага простага механізма.

З

Ціск

Чаму ў камбайна колы шырокія, а нажы вострыя?

Чаму рыбы могуць плаваць на большай глыбіні,
чым падводныя лодкі?

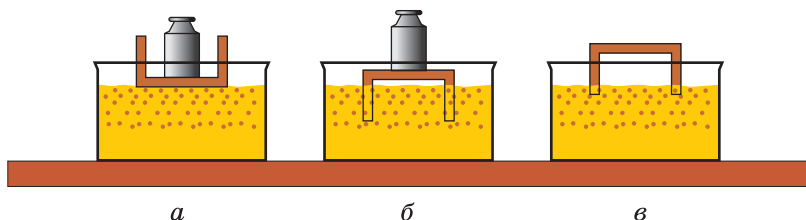
Як караблю пераплыць з адной ракі ў другую,
калі ўзроўні вады ў рэках розныя?



§ 27. Ціск. Адзінкі ціску

Цела, што знаходзіцца на гарызантальнай апоры, дзейнічае на апору сілай ціску. Яна прыкладзена да апоры і накіравана перпендыкулярна да яе. Апора, як вам ужо вядома, дэфармуецца. Ад чаго залежыць ступень яе дэфармацыі?

Мал. 146



Правядзём такі дослед. Змесцім столік уверх ножкамі ў скрыню з пяском, на столік паставім гіру (мал. 146, а). Столік з гірай толькі нязначна апусціцца ў пясок. А цяпер перавярнем столік ножкамі ўніз і паставім тую ж гіру (мал. 146, б). Ножкі праваляцца ў пясок. Вынік дзеяння адной і той жа сілы ціску (вагі століка з гірай) аказаўся розным. Чаму? Таму што сіла ціску дзейнічала на розную плошчу паверхні апоры. У першым выпадку яе дзеянне размеркавалася на плошчу паверхні пяска пад стальніцай, у другім — на плошчу паверхні пяска пад ножкамі століка. Зразумела, што плошча пад ножкамі значна меншая за плошчу пад стальніцай. А калі прыняць гіру, г. зн. паменшыць сілу ціску, не мяняючы плошчы паверхні, на якую яна дзейнічае (мал. 146, в)? Ножкі апускацца ў пясок, але не так моцна, як у выпадку, калі на століку знаходзіцца гіра. Вынік дзеяння сілы ціску на паверхню можна вызначыць з дапамогай фізічнай велічыні — *ціску*. Абазначым ціск літарай p . З доследу вынікае, што **ціск тым большы, чым большая сіла ціску і чым меншая плошча паверхні**, на якую яна дзейнічае. Матэматычна гэта можна выразіць так:

$$\text{ціск} = \frac{\text{сіла ціску}}{\text{плошча паверхні}}, \quad \text{або} \quad p = \frac{F}{S}.$$

Ціск — гэта фізічная велічыня, лікава роўная сіле ціску, якая дзейнічае перпендыкулярна паверхні на адзінку плошчы паверхні.

У СІ адзінкай ціску з’яўляецца $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Яе называюць паскалем (Па) у гонар французскага вучонага Блеза Паскаля, які вывучаў ціск у вадкасцях і газах.

1 паскаль — гэта ціск, утвараемы сілай 1 Н, якая дзейнічае перпендыкулярна паверхні плошчай 1 м².

Ужываюцца кратныя адзінкі ціску: гектапаскаль (гПа), кілапаскаль (кПа) і мегапаскаль (МПа). Звярніце ўвагу:

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 1 \cdot 10^2 \text{ Па};$$

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па} = 1 \cdot 10^3 \text{ Па};$$

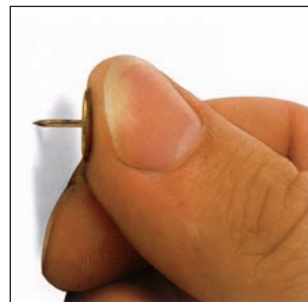
$$1 \text{ МПа} = 1\,000\,000 \text{ Па} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Для параўнання адзначым, што чалавек пры хадзьбе ўтварае ціск да 300 — 400 кПа (вызначце ціск, які ўтвараеце вы, стоячы на падлозе, параўнайце з прыведзеным значэннем і растлумачце прычыну разыходжання гэтых значэнняў). Гусенічны трактар стварае ціск на глебу ў 40—60 кПа, колы вагона на рэйкі — каля 50 000 кПа.

Сілай ціску можа быць не толькі вага цела, але і любая сіла, перпендыкулярная паверхні, на якую яна дзейнічае.

Просты прыклад: вы прыколваеце канцылярскую кнопку да вертыкальнай сцяны (мал. 147). Сілай ціску на кнопку з’яўляецца сіла рукі, накіраваная гарызантальна (перпендыкулярна да сцяны). Спружыны канапы ўтвараюць ціск на чалавека, які на ёй сядзіць. Тут сіла ціску — гэта сіла пругкасці спружын, накіраваная вертыкальна ўверх.

Для практычных мэт часам неабходна паменшыць ціск, а ў шэрагу выпадкаў наадварот — павялічыць. Як змяніць ціск? Звернемся да формулы $p = \frac{F}{S}$. Зусім зразумела: каб паменшыць ціск, трэба павялічыць плошчу апоры або паменшыць сілу ціску.



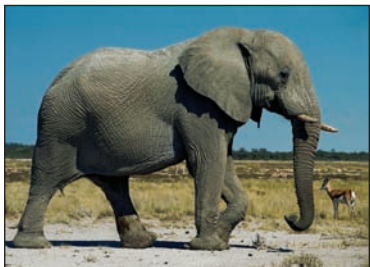
Мал. 147



Мал. 148



Мал. 149



Мал. 150



Мал. 151



Мал. 152

Напрыклад, каб павялічыць праходнасць цяжкіх машын (трактара, танка), іх аснашчаюць гусеніцамі (мал. 148), павялічваючы тым самым плошчу паверхні, на якую дзейнічае сіла ціску, і памяншаючы ціск. Шырокія шыны ў аўтамабіляў, якія рухаюцца па пустыні, лыжы ў чалавека (мал. 149) пры руху па снезе, шырокія стопы ў слана (мал. 150) адыгрываюць тую ж ролю, што і гусеніцы ў трактара. Прывядзіце самі падобныя прыклады.

А як павялічыць ціск? З формулы ціску вынікае: трэба павялічыць сілу ціску або паменшыць плошчу паверхні, на якую дзейнічае сіла. Заточваючы лязо (мал. 151) нажніц, кос, піл, вастрыё іголак і інш., мы імкнёмся паменшыць плошчу паверхні і тым самым, дзейнічаючы малой сілай, утварыць вялікі ціск.

Жывёльнаму свету прырода сама забяспечыла магчымасць утвараць вялікі ціск невялікім намаганнем, узброіўшы яго іголкамі, дзюбамі (мал. 152), кіпцюрамі, зубамі, ікламі, джаламі і г. д.

Галоўныя вывады

1. Ціск характарызуе вынік дэфармуючага дзеяння сілы на дзеную паверхню.

2. Чым большая сіла ціску, што перпендыкулярна дзейнічае на паверхню, тым большы ціск. Чым большая плошча паверхні, на якую дзейнічае сіла ціску, тым меншы ціск.

3. У СІ адзінкай ціску з'яўляецца 1 Па.

Кантрольныя пытанні

1. Для чаго ўводзіцца фізічная велічыня — ціск?
2. У якіх адзінках вымяраецца ціск?
3. Якая розніца паміж паняццямі «сіла ціску» і «ціск»?
4. Як можна павялічыць ціск? Паменшыць?
5. Выкарыстаўшы формулу ціску, атрымаеце формулу для разліку сілы ціску.

§ 28. Ціск газу

Газы, як і цвёрдыя целы, таксама ўтвараюць ціск. Але цвёрдыя целы перадаюць ціск у тым напрамку, у якім дзейнічае сіла ціску. Кнопка (гл. мал. 147) перадае ціск сілы рукі перпендыкулярна сценцы, лапата (мал. 153) — у напрамку сілы ціску нагі і г. д. А вось газы перадаюць ціск не накіравана, а ва ўсе бакі. Чым абумоўлена такая асаблівасць газаў? Ад чаго залежыць ціск газу?

З 6-га класа вам вядома, што газы, як вадкасці і цвёрдыя целы, складаюцца з малекул. Але адлегласці паміж малекуламі ў газаў большыя, чым паміж малекуламі ў вадкасцей і цвёрдых цел. Таму сілы ўзаемадзеяння паміж малекуламі ў газаў практычна адсутнічаюць. Рухаючыся хаатычна, малекулы сутыкаюцца паміж сабой і са сценамі пасудзіны. Паколькі лік



Мал. 153

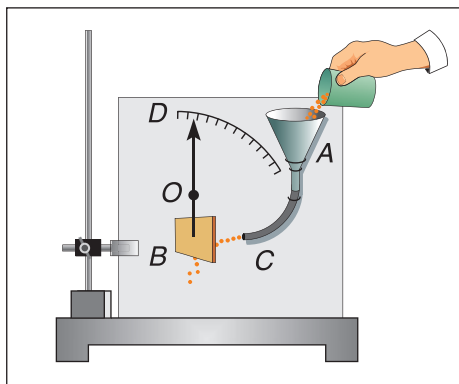
малекул газа ў пасудзіне надзвычайна вялікі (напрыклад, у 1 см^3 іх каля $2,7 \cdot 10^{19}$), то сценкі ўспрымаюць удары малекул як дзеянне даволі адчувальнай сілы ціску.

Утварэнне ціску газу на сценкі пасудзіны можна змадэліраваць на нескладанай устаноўцы (мал. 154). Калі кідаць у варонку *A* шрацінкі, то па выгнутым жолабе яны будуць рухацца ўлева і ўдараць па планцы *B*, што прывядзе да павароту планкі. Кідаючы шрацінкі па адной, можна ўбачыць, што ад адзіночных удараў планка толькі ўздрыгвае. Пры вялікім патоку шрацінак сумарная сіла ўдараў будзе ўтрымліваць планку ў адхіленым стане, што сведчыць пра ўтвараемы на планку ціск.

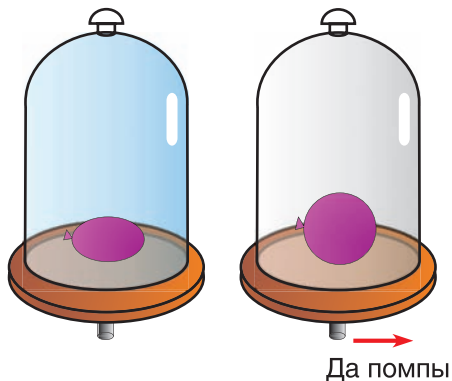
У газах сярэдні лік удараў малекул, што хаатычна рухаюцца, на адзінку плошчы паверхні сценкі па ўсіх напрамках аднолькавы. Значыць, і сярэдні ціск па ўсіх напрамках аднолькавы.

Пацвердзім гэта доследам. Пад шкляны каўпак змесцім завязаны гумавы шар, у якім знаходзіцца газ (мал. 155). Будзем адпампоўваць паветра з-пад каўпака. Аб'ём шара па меры адпампоўвання паветра з-пад каўпака павялічваецца. Гэта звязана з тым, што ціск газу пад каўпаком становіцца меншым за ціск унутры шара.

Форма абалонкі ў выглядзе шара — доказ таго, што ціск газу па ўсіх напрамках аднолькавы.



Мал. 154



Мал. 155

Як можна змяніць ціск газу? Паколькі ціск абумоўлены лікам удараў малекул і сілай удару кожнай малекулы аб сценку, то ёсць два шляхі змянення ціску. Першы з іх — змяніць лік малекул у адзінцы аб'ёму.

Пацвердзім сказанае доследам. У коркавым пісталеце (мал. 156) паміж коркам і поршнем знаходзіцца паветра, якое ўтварае ціск па ўсім напрамкам. Калі будзем поршнем сціскаць газ, не змяняючы яго тэмпературы, то корак выляціць з пісталета. Чаму?

Памяншаючы аб'ём газу, мы павялічваем лік малекул у адзінцы аб'ёму. Гэта прыводзіць да павелічэння ліку ўдараў на сценкі. Ціск узрастае. З павелічэннем ціску расце сіла ціску газу на корак, і ён вылятае. Калі павялічваць аб'ём газу пры пастаяннай тэмпературы, ціск будзе памяншацца.

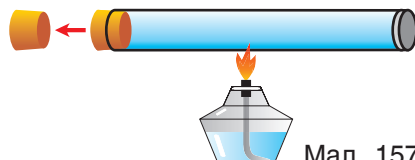
Такім чынам, **пры памяншэнні аб'ёму дадзенай масы газу пры нязменнай тэмпературы яго ціск павялічваецца, а пры павелічэнні аб'ёму ціск памяншаецца.**

Другі шлях змяніць ціск газу — гэта змяніць сілу ўдару малекул аб сценкі. Для гэтага трэба газ нагрэць (астудзіць), тады скорасць хаатычнага руху малекул павялічыцца (паменшыцца), а гэта значыць павялічыцца (паменшыцца) сіла ўдару іх аб сценкі.

Залежнасць ціску ад тэмпературы можна пацвердзіць доследам. Калі аб'ём газу ў коркавым пісталеце (мал. 157) захоўваць пастаянным, але павышаць тэмпературу газу, падаграваючы яго на плітцы, то корак выляціць у выніку павелічэння ціску. Значыць, **чым вышэйшая тэмпература дадзенай масы газу пры пастаянным аб'ёме, тым большы яго ціск, чым ніжэйшая тэмпература, тым меншы ціск.**



Мал. 156



Мал. 157

Узрастанне ціску газу пры яго награванні выклікана не толькі павелічэннем сілы асобных удараў. У халодным і гарачым газе будзе неаднолькавым і сярэдні лік удараў малекул аб сценкі пасудзіны за адзінку часу (частата ўдараў). Падумайце, як уплывае гэты фактар на ціск газу.

Галоўныя вывады

1. Ціск газу ёсць вынік удараў малекул аб сценкі пасудзіны, у якой ён знаходзіцца.
2. Ціск газу тым большы (меншы), чым меншы (большы) пры пастаяннай тэмпературы яго аб'ёму.
3. Ціск газу тым большы (меншы), чым вышэй (ніжэй) пры пастаянным аб'ёме яго тэмпература.

Кантрольныя пытанні

1. У выніку чаго ўзнікае ціск газу?
2. Як і чаму змяняецца ціск газу пры змяненні яго аб'ёму?
3. Як і чаму змяняецца ціск газу пры яго награванні (ахаладжэнні)?
4. Чаму балоны з газам заўсёды рэкамендуецца захоўваць пад навісам, куды не трапляюць сонечныя прамені?

Прыклад рашэння задачы

Сямікласнік масай $m = 60$ кг стаіць на падлозе. Вызначце ціск, які ён утварае на падлогу, калі плошча судакранання падэшвы яго чаравіка з падлогай $S = 0,60$ дм². Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$S = 0,60 \text{ дм}^2 =$$

$$= 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$p = ?$

Рашэнне

Ціск, які ўтварае сямікласнік на падлогу,

$$p = \frac{F_{\text{ціску}}}{2S}.$$

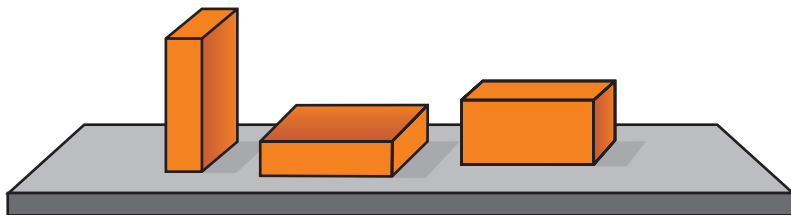
Сіла ціску $F_{\text{ціску}}$ роўна вазе P сямікласніка. Але $P = gm$. Тады:

$$p = \frac{gm}{2S}; \quad p = \frac{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 60 \text{ кг}}{2 \cdot 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2} = 50\,000 \text{ Па} = 50 \text{ кПа}.$$

Адказ: $p = 50$ кПа.

Практыкаванне 17

1. У якім са становішчаў (мал. 158) брусок утварае на паверхню дошкі найбольшы ціск? Найменшы?



Мал. 158

2. Вызначце ціск, утвараемы кубкам на стальніцу, калі вага кубка $P = 2,4$ Н, а плошча дна $S = 0,60$ дм².

3. Якую плошчу павінна мець вастрыё цвіка, каб пры сіле ціску $F = 20$ Н створаны цвіком ціск быў роўны $p = 10$ МПа?

4. У колькі разоў зменіцца ціск, калі сіла ціску павялічыцца ў 2 разы, а плошча паверхні паменшыцца ў 6 разоў?

5. У колькі разоў зменіцца ціск, калі плошча паверхні, на якую дзейнічае сіла ціску, павялічыцца ў k разоў?

6. Пабудуйце графік залежнасці ціску ад сілы ціску. Што ён сабой уяўляе?

7. Які ціск на грунт стварае бетонная цыліндрычная калона вышыняй $h = 8,0$ м і плошчай сячэння $S = 1,5$ м²? Кэфіцыент $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



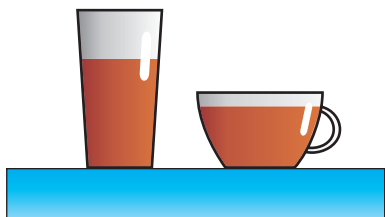
8. Знайдзіце такое рашэнне папярэдняй задачы, пры якім не спатрэбіліся б усе даныя.



9. Сілікатны блок даўжынёй $a = 50$ см ляжыць плазам на гарызантальнай паверхні. Вызначце шырыню і вышыню блока, калі пры пераварочванні яго ў два іншых становішчы ціск на паверхню змяняецца ў 2,5 і 4,0 раза.

§ 29. Перадача ціску газамі і вадкасцямі. Закон Паскаля

Сярод агульных уласцівасцей вадкасцей і газаў варта адзначыць рухомасць іх малекул. У газаў рухомасць малекул значна вышэйшая за рухомасць малекул вадкасцей. Гэта абумоўлена тым, што адлегласці паміж малекуламі газа большыя.

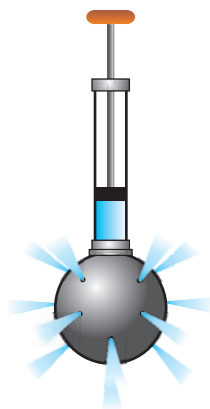


Мал. 159

Рухомасць малекул вызначае асноўную ўласцівасць вадкасцей і газаў. Яны не захоўваюць сваю форму, а прымаюць форму пасудзіны, у якой знаходзяцца (мал. 159).

Падабенства ўласцівасцей вадкасцей і газаў прыводзіць да таго, што некаторыя законы для вадкасцей і газаў аднолькавыя. Разгледзім адзін з іх. Правядзём такі дослед. Шар з дзіркамі запоўнім дымам і далучым да трубка з поршнем. Дым разам з паветрам, якое ёсць у шары, зоймуць увесь аб'ём шара. Будзем перамяшчаць поршань уніз. Мы заўважым, што з усіх дзірак пачнуць выцякаць струменьчыкі паветра з дымам (мал. 160). Як растлумачыць гэту з'яву?

Рухомасць часціц дыму і малекул паветра прыводзіць да таго, што яны размяркоўваюцца раўнамерна па ўсім аб'ёме. Сутыкаючыся са сценкамі шара, малекулы і часцінкі дыму дзейнічаюць на сценкі, утвараючы ціск. Сціскаючы газ (паветра з дымам), мы памяншаем аб'ём і тым самым павялічваем спачатку ціск непасрэдна пад поршнем. Дзякуючы рухомасці малекул ціск перадаецца газам ва ўсе пункты шара, і газ выцякае з дзірак ва ўсіх напрамках. Такі ж эфект дасягаецца і ў выпадку, калі ў шары будзе толькі паветра (без дыму). Дым робіць бачнымі струменьчыкі, што выцякаюць.



Мал. 160

Аналагічны дослед можна правесці з вадкасцю, напрыклад вадой. Пры націсканні на поршань стру-

меньчыкі вады праз дзіркі ў шары будуць выцякаць па ўсіх напрамках.

Правядзём яшчэ адзін дослед. Праз корак у слоік з вадой уставім чатыры трубкі (мал. 161). Праз трубку 1 будзем напампоўваць у слоік паветра, павялічваючы там яго ціск.

Павелічэнне знешняга ціску на паверхню вады перадаецца вадой ад слоя да слоя па ўсіх напрамках. У

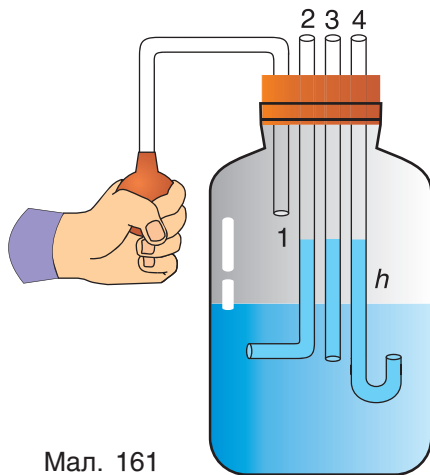
выніку вада ва ўсіх трубках падыхаецца, прычым на адну і тую ж вышыню. Гэта значыць, што ціск у вадзе збоку (трубка 2), знізу (трубка 3), зверху (трубка 4) на адной глыбіні аднолькавы.

А ўспомніце, як з аднолькавай сілай выцякаюць струменьчыкі вады з усіх дзірак, што з'явіліся ў шлангу для паліву агарода. Зробім вывад.

Ціск, які ўтвараецца знешняй сілай на вадкасць (газ), перадаецца вадкасцю (газам) ва ўсе пункты вадкасці (газу) без змянення.

Да такога вываду яшчэ ў XVII ст. прыйшоў французскі вучоны Блез Паскаль. Гэты вывад называюць *законам Паскаля*.

У цвёрдых целах рухомасць малекул абмежавана, і гэтыя целы не падпарадкоўваюцца закону Паскаля. Калі вы паставіце на стол цяжкі прадмет, напрыклад гіру, то вага гіры створыць ціск толькі на плошчу паверхні стала пад гірай, г. зн. толькі ў напрамку дзеяння сілы.



Мал. 161

Галоўныя вывады

1. Малекулы вадкасці і газу валодаюць высокай рухомасцю.
2. Дзякуючы рухомасці малекул вадкасці і газы перадаюць утвараемы на іх ціск ва ўсе пункты без змянення.
3. Цвёрдыя целы ўтвараюць ціск толькі ў напрамку дзеяння сілы ціску.

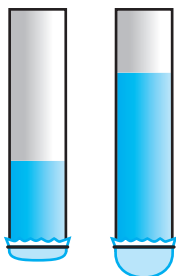
Кантрольныя пытанні

1. Якімі агульнымі ўласцівасцямі валодаюць вадкасці і газы?
2. Як перадаюць вадкасці і газы ўтвараемы на іх ціск?
3. Чаму да цвёрдых целаў не прымянімы закон Паскаля?
4. Растлумачце, ці будзе закон Паскаля выконвацца ва ўмовах бязваж-касці.
5. Апішыце ход прыведзенага доследу з шарам, калі маленькая дзірка будзе зроблена і ў самім поршні.

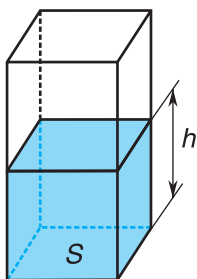


§ 30. Ціск вадкасці, абумоўлены яе вагой

Дзякуючы рухомасці малекул вадкасць прымае форму той пасудзіны, у якую яна наліта. Калі на вадкасць дзейнічае знешняя сіла ціску, то вадкасць перадае ўтвораны гэтай сілай ціск ва ўсе пункты. Але вадкасць утварае ціск і за кошт сваёй вагі, прычым не толькі на дно пасудзіны, але і на сценкі.



Мал. 162



Мал. 163

У тым, што вадкасць цісне на сценкі і дно пасудзіны, можна пераканацца, выкарыстаўшы эластычны поліэтыленавы пакет або трубку, ніжні канец якой закрыты гумавай плёнкай. Наліваючы паступова вадку ў пасудзіну, мы заўважым, як павялічваецца прагін плёнка (мал. 162).

Прычынай павелічэння прагін у з'яўляецца ўзрастанне ціску вадкі на плёнку. Прыцягваючыся да Зямлі, вадкасць цісне сваёй вагой на плёнку падобна да таго, як цісне на стол стос кніг. **Ціск нерухомай вадкасці, абумоўлены яе вагой, называюць гідрастатычным** (ад лац. *hydros* — вада, *statios* — нерухомы).

Гідрастатычны ціск можна разлічыць. Так, ціск слупа вадкасці вышынёй h на дно пасудзіны з вертыкальнымі сценамі і плошчай дна S (мал. 163): $p = \frac{F}{S}$. Сілай ціску F з'яўляецца вага вадкасці.

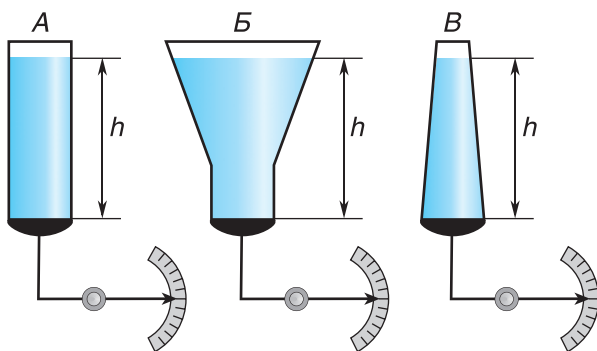
Для нерухомай вадкасці яе вага роўна сіле цяжару: $F = P = gm$.

Запісаўшы масу m вадкасці праз шчыльнасць ρ і аб'ём V , маем: $m = \rho V$. Аб'ём $V = Sh$, тады $m = \rho Sh$. Падставім у формулу ціску, атрымаем:

$$p = \frac{g\rho Sh}{S} = g\rho h; \quad \boxed{p = g\rho h.}$$

Такім чынам, **ціск вадкасці на дно пасудзіны залежыць толькі ад яе шчыльнасці і вышыні слупа вадкасці.**

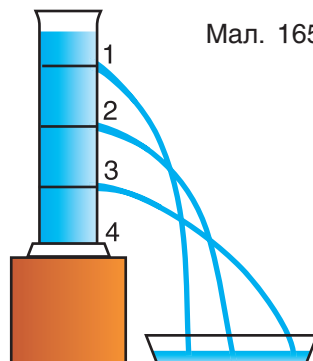
Каб праверыць гэта, да прыбора з эластычным дном далучым вымяральную сістэму (мал. 164). Пры замене цыліндрычнай па-



Мал. 164

судзіны A на канічныя пасудзіны B і B' (пасудзіны маюць аднолькавую плошчу дна і роўныя вышыні слупоў вадкасці) прыбор паказвае роўныя сілы ціску, а значыць, і роўныя ціскі вадкасці на дно ўсіх пасудзін, хаця маса вадкасці ў пасудзінах розная.

Формула $p = g\rho h$ дазваляе знайсці ціск не толькі на дно, але і на бакавыя сценкі. Сапраўды, ціск на сценку, як і на дно, на дадзенай глыбіні залежыць ад вышыні слупа вадкасці. Пацвердзім гэта доследам. На-льём у пластыкавую бутэльку з праколатамі ў сценцы дзіркамі падфарбаваную вадку (мал. 165). Назіранні за выцякаючымі стру-



Мал. 165

менямі паказваюць, што гідрастатычны ціск дзейнічае і на сценку бутэлякі, і яго велічыня ўзрастае па меры павелічэння слупа вады ў бутэляцы, таму струмень 3 падае далей за струмень 1. Каб растлумачыць гэту з’яву, падзелім мысленна вадкасць на слаі 1, 2, 3, 4 (гл. мал. 165). На кожны ніжні слой вадкасці дзейнічае вага верхніх яе слаёў. Сіла цяжару, што дзейнічае на слой 1, прыціскае яго да слою 2. Слой 2 перадае ўтвараемы на яго ціск па ўсім напрамкам. На слой 3 дзейнічае вага слаёў 1, 2. Значыць, ціск у слоі 3 большы за ціск у слоі 2. Найбольшым ён будзе на дно і сценку каля дна.



Мал. 166

Гідрастатычны ціск з’яўляецца галоўнай перашкодай для пранікнення чалавека ў глыбіні Сусветнага акіяна. Ужо на глыбіні 2,5—3 м нетрэніраваны нырэц адчувае моцны боль у вушах, выкліканы ціскам вады на барабанныя перапонкі. Нават карпусы падводных лодак, вырабленыя з самых трывалых сталей, на глыбіні ў некалькі соцень метраў знаходзяцца на мяжы перавышэння дапушчальнай трываласці. Узнікае пытанне: а чаму камфортна на такой самай і нават большай глыбіні адчуваюць сябе рыбы (мал. 166)? Калі вы не знайшлі правільны адказ, мы падкажам: вада цісне на рыб не толькі звонку, але і знутры (закон Паскаля), г. зн. адбываецца кампенсация сіл ціску.

Галоўныя вывады

1. Гідрастатычны ціск абумоўлены вагой вадкасці, што знаходзіцца ў спакоі.
2. Гідрастатычны ціск на дадзенай глыбіні залежыць ад шчыльнасці вадкасці і вышыні слупа вадкасці.
3. Гідрастатычны ціск на бакавую сценку пасудзіны на дадзенай глыбіні такі самы, як і на дно, калі б дно знаходзілася на гэтай глыбіні.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое гідрастатычны ціск?
2. Ад якіх велічынь залежыць значэнне гідрастатычнага ціску?
3. Чаму гідрастатычны ціск не залежыць ад плошчы дна пасудзіны?
4. Чым вызначаецца ціск на дно пасудзіны, у якую налітыя слой вады і слой газы?
5. Ці можна стварыць вялікі гідрастатычны ціск, маючы невялікую колькасць вадкасці?
6. Ці магчымы гідрастатычны ціск на іншых нябесных целах (Месяцы, Марсе)?



Прыклад рашэння задачы

Вызначце глыбіню вадаёма, на якой ціск вады $p = 100$ кПа.

Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$p = 100 \text{ кПа} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

h — ?

Рашэнне

Ціск вады на глыбіні h роўны: $p = g\rho h$,
адкуль $h = \frac{p}{g\rho}$,

дзе $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (шчыльнасць вады).

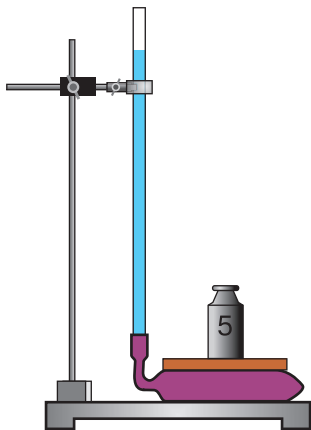
$$h = \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м.}$$

Адказ: $h = 10$ м.

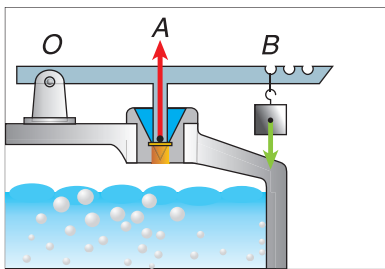
Практыкаванне 18

1. Ці аднолькавы ціск на дно дзвюх пасудзін, у якія наліты да аднолькавай вышыні вада і газа?

2. Які дадатковы ціск дзейнічае на нырца, які апусціўся на глыбіню $h = 20,0$ м? Якая там сіла ціску вады на барабанную перапонку, калі плошча яе роўна $S = 0,80 \text{ см}^2$? Каэфіцыент g у гэтай і наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



Мал. 167



Мал. 168

3. Вызначце таўшчыню слою вады, які ўтварае ціск $p_1 = 1,0$ Па; $p_2 = 100\,000$ Па.

4. Гумаваая камера запоўнена вадой і злучана са шкляной трубкай (мал. 167). На камеру пакладзена дошка масай $m_1 = 1,0$ кг і гіра масай $m_2 = 5,0$ кг. Вызначце плошчу дошкі, калі вышыня слупа вады ў трубы $h = 1,0$ м.

5. У цыліндрычную пасудзіну наліты роўныя масы вады і машыннага масла. Знайдзіце вышыню кожнага са слупоў, калі поўны ціск на дно $p = 1,8$ кПа. Рашыце задачу і для выпадку, калі масы вадкасцей не роўныя, а роўныя іх аб'ёмы.



6. У доследзе са зменнымі пасудзінамі (гл. мал. 164) плошчы дна аднолькавыя. Але ж маса вады ў сасудзе B значна большая, чым у сасудах A і B . Як растлумачыць роўнасць ціскаў на дно пасудзін?

7. Пасудзіна ў форме куба запоўнена даверху вадой. У колькі разоў адрозніваюцца сілы ціску вады на дно і на адну са сценак?



8. У сасудзе з вадой плавае кавалак лёду. Што адбудзецца з узроўнем вады ў пасудзіне пасля таго, як лёд растане? Указанне: пры раставанні лёду ўтвараецца вада, маса якой дакладна роўна масе лёду, які растаў.



9. Засцерагальны клапан паравога катла (мал. 168) павінен адкрывацца пры залішнім ціску $p = 10$ атм. Знайдзіце масу рэгулявальнага грузу, калі $OA = AB$, плошча клапана $S = 2,0$ см², а масу стрыжня можна не ўлічваць.

§ 31. Гідраўлічныя механізмы

Слова «гідраўлічны» паходзіць ад грэчаскага «hydraulikos» — вадзяны. З улікам таго, што ў гідраўлічных механізмах выкарыстоўваецца не вада, а спецыяльныя вадкасці, гэтыя механізмы варта было б называць вадкаснымі. Яшчэ больш дакладна было б лічыць гідраўлічныя механізмы ўстройствамі, у рабоце якіх выкарыстоўваецца закон Паскаля для вадкасцей. Як працуюць гідраўлічныя механізмы?

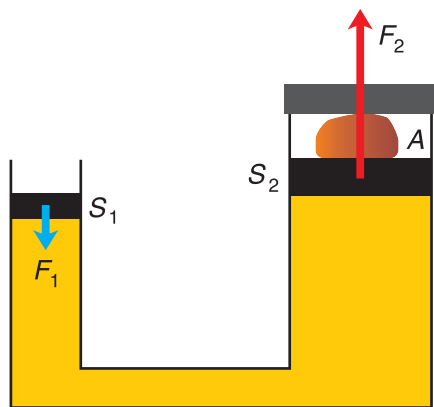
Прасцейшымі механізмамі з’яўляюцца гідраўлічны прэс і гідраўлічны тормаз.

Спрошчаная схема *гідраўлічнага прэса* паказана на малюнку 169. Два цыліндры з рознымі плошчамі папярочных сячэнняў злучаны паміж сабой і запоўнены практычна несціскаемай вадкасцю, звычайна — маслам. У цыліндрах знаходзяцца рухомыя поршні. Калі на малы поршань з плошчай сячэння S_1 дзейнічае сіла F_1 , то яна стварае ціск на масла

$p_1 = \frac{F_1}{S_1}$. Па закону Паскаля гэты ціск перадаецца ва ўсе пункты вадкасці. Значыць, і на вялікі поршань з плошчай сячэння S_2 будзе дзейнічаць такі ж ціск, г. зн. $p_2 = p_1$. Тады сіла ціску, што дзейнічае на вялікі поршань і накіравана ўверх, $F_2 = p_2 S_2 = p_1 S_2$. Параўнаем сілы F_2 і $F_1 = p_1 S_1$.

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{p_1 S_2}{p_1 S_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Калі, напрыклад, плошчы папярочных сячэнняў поршняў адрозніваюцца ў 100 разоў, г. зн. $S_2 = 100S_1$, то, прыкладаючы да малога поршня сілу $F_1 = 50$ Н, атрымаем сілу, што дзейнічае на вялікі поршань, $F_2 = 5000$ Н.



Мал. 169

Такім чынам, на вялікі поршань гідраўлічнага прэса дзейнічае сіла F_2 , у столькі разоў большая за сілу F_1 , у колькі разоў плошча папярочнага сячэння S_2 вялікага поршня большая за плошчу папярочнага сячэння S_1 малога поршня.

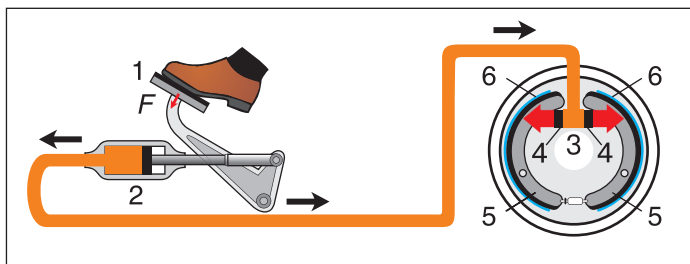


Мал. 170

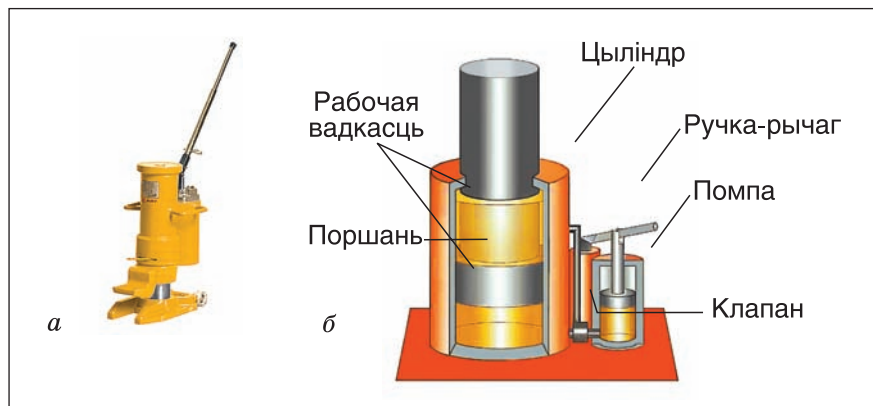
Гідраўлічны прэс (мал. 170) шырока прымяняецца ў тэхніцы для апрацоўкі металаў, прасавання фанеры, кардону, драўнянастружкавых пліт. У сельскай гаспадарцы гідраўлічны прэс выкарыстоўваецца для прасавання сена, для выціскання алею з насення сланечніка, кукурузы і інш.

Гідраўлічны тормаз з'яўляецца важнай часткай многіх аўтамабіляў. Менавіта ён ажыццяўляе надзейнае і хуткае тармажэнне яго колаў. Прычым гідраўлічны тормаз забяспечвае аднолькавае тармажэнне адначасова ўсіх колаў аўтамабіля.

Работу гідраўлічнага тормазу можна растлумачыць, выкарыстоўваючы спрошчаную схему (мал. 171). Нага вадзіцеля дзейнічае на тармазную педаль 1. Гэта дзеянне перадаецца на поршань 2 цыліндра, у якім знаходзіцца тармазная вадкасць. Поршань стварае ціск на вадкасць, які, згодна з законам Паскаля, перадаецца ў тармазныя цыліндры 3 усіх колаў аўтамабіля. У цыліндры 3 маюцца два рухомыя поршні 4. Пад ціскам вадкасці поршні 4 разыходзяцца і прыціскаюць тармазныя калодкі 5 да тармазных барабанаў 6, што і спыняе вярчэнне колаў.



Мал. 171



Мал. 172

Эфектыўным гідраўлічным механізмам з'яўляецца *гідраўлічны дамкрат* (мал. 172, а). Пры дапамозе зусім невялікага дамкрата можна лёгка падняць цяжкі грузавік. Прынцып дзеяння дамкрата (мал. 172, б) такі самы, як і гідраўлічнага прэса. Многія сельскагаспадарчыя машыны — трактары, камбайны, сеялкі — забяспечаны гідраўлічнымі прыладамі. З іх дапамогай лёгка падымаць або апускаць асобныя часткі машыны (мал. 173, а), грузы.

У стаматалагічным кабінёце вы назіралі крэсла, якое гідраўлічна падымаецца (мал. 173, б).



а



б

Мал. 173

Галоўныя вывады

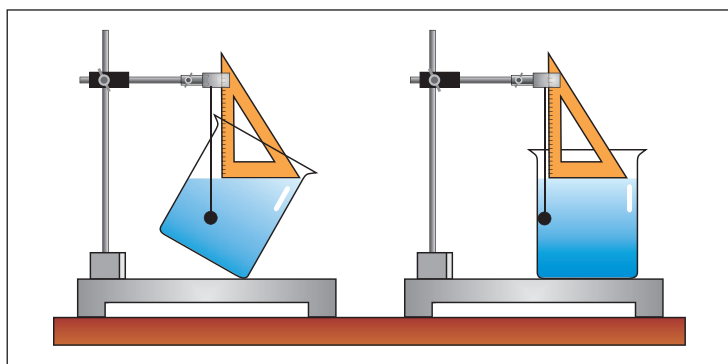
1. Дзеянне гідраўлічных механізмаў заснавана на законе Паскаля.
2. У гідраўлічных механізмах можна, дзейнічаючы малой сілай, атрымаць у шмат разоў большую сілу.

Кантрольныя пытанні

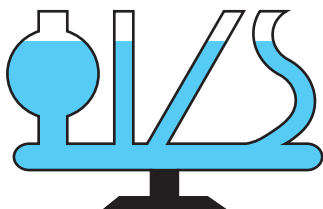
1. На чым заснавана дзеянне гідраўлічных механізмаў?
2. Чаму ў гідраўлічным прэсе плошчы сячэння поршняў заўсёды розныя?
3. Ці можна стварыць механізм, падобны гідраўлічнаму, выкарыстоўваючы замест вадкасці газ?
4. Чаму вадзіцель перад паездкай заўсёды правярае наяўнасць тармазной вадкасці ў сістэме аўтамабіля?

§ 32. Сазлучаныя сасуды

Дзеянне на вадкасць сілы цяжару і рухомасць яе малекул прыводзяць да таго, што ў шырокіх пасудзінах паверхня вадкасці ўстанаўліваецца гарызантальна. Гэта лёгка правесці з дапамогай прамавугольнага трохвугольніка (мал. 174). Гарызантальнай будзе паверхня вадкасці і ў сасудах, злучаных паміж сабой, незалежна ад іх формы.



Мал. 174



Мал. 175

Возьмем некалькі злучаных паміж сабой адкрытых сасудаў. Іх называюць *сазлучанымі*. Будзем наліваць у адзін з іх вадку. Вада перацякае ў астатнія сасуды і ўстаноўіцца ва ўсіх сасудах на адным узроўні (мал. 175) (калі сасуды не вельмі вузкія). Чаму гэта адбываецца?

Разгледзім самыя простыя сазлучаныя сасуды (мал. 176). Выдзелім унутры невялікі слой вадкасці AA' . Як і ўся вадкасць, ён нерухомы. Значыць, злева і справа на яго дзейнічаюць аднолькавыя па модулю, але процілеглыя па напрамку сілы. Гэта сілы ціску слупоў вадкасці $F_{\text{ціску}1} = F_{\text{ціску}2}$. Але каб былі роўнымі гэтыя сілы, неабходна, каб былі аднолькавымі ціскі, утвараемы левым і правым слупамі вадкасці, г. зн.

$$g\rho h_1 = g\rho h_2.$$

Пасля скарачэння атрымаем:

$$h_1 = h_2.$$

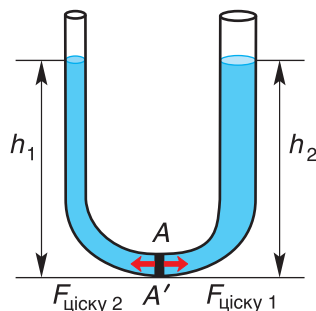
У адкрытых сазлучаных сасудах паверхні аднароднай вадкасці ўстанаўліваюцца на аднолькавым узроўні.

А калі ў сасуды наліць розныя вадкасці, напрыклад ртуть і ваду (мал. 177)? І тут для раўнавагі тонкага слоя AA' трэба, каб ціск, утвараемы левым (ртутным) слупом вышынёй $h_{\text{рт}} + h_0$ быў роўны ціску правага слупа вады і ртуці вышынёй $h_{\text{в}} + h_0$ (гл. мал. 177), г. зн. $g\rho_{\text{рт}}(h_{\text{рт}} + h_0) = g\rho_{\text{в}}h_{\text{в}} + g\rho_{\text{рт}}h_0$, адкуль $\rho_{\text{рт}}h_{\text{рт}} = \rho_{\text{в}}h_{\text{в}}$. Выкарыстоўваючы ўласцівасці прапарцыі, запішам канчаткова:

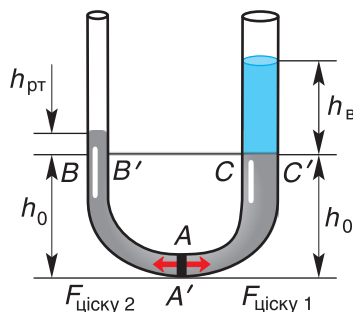
$$\frac{h_{\text{рт}}}{h_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{рт}}}.$$

Паглядзіце ў табліцу шчыльнасцей вадкасцей (Прылажэнне 3). Шчыльнасць ртуці ў 13,6 раза большая за шчыльнасць вады. Значыць, $h_{\text{рт}}$ будзе ў 13,6 раза менш за $h_{\text{в}}$.

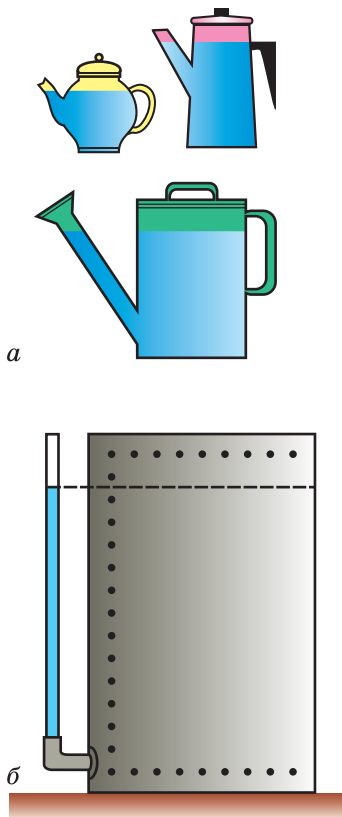
У адкрытых сазлучаных сасудах вышыні слупоў вадкасцей, якія не змешваюцца, над узроўнем іх падзелу адваротна прапарцыянальныя шчыльнасцям вадкасцей.



Мал. 176



Мал. 177



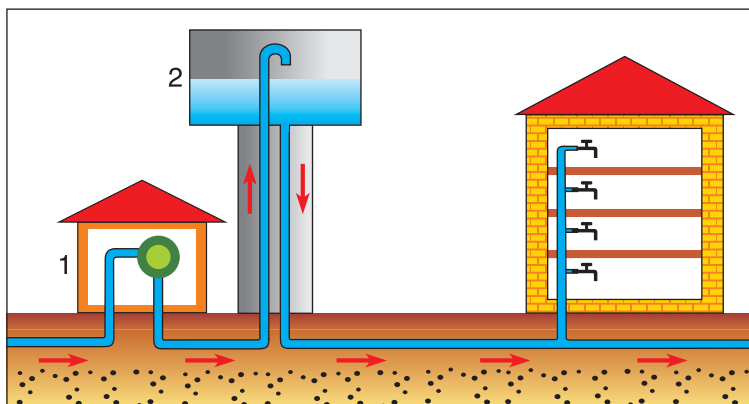
Мал. 178

З сазлучанымі сасудамі вы сустракаецеся пастаянна: гэта чайнікі, лейкі для паліву (мал. 178, а), вадамерныя трубка ў вялікіх ёмістасцях з вадой або гаручым (мал. 178, б).

Складаную сістэму сазлучаных сасудаў выкарыстоўваюць у пасёлках і вёсках у вежавым водаправодзе. Схема прасцейшага водаправода паказана на малюнку 179. Вада з артэзіянскай крыніцы помпамі 1 падаецца ў бак воданепорнай вежы 2. Ад бака ідуць трубы з адгалінаваннямі, якія ўводзяцца ў дамы на ўсе паверхі. Канцы адгалінаванняў труб закрываюцца кранамі. Ціск вады ля крана вызначаецца вышынёй слупа вады ў вежы над узроўнем крана. Таму, чым вышэй паверх, тым ціск вады ў кране меншы. Каб вада магла дасягаць ўсіх паверхаў, вежы будуць высокімі.

На прыncyпе дзеяння сазлучаных сасудаў працуе прасцейшы бязпомпавы фантан.

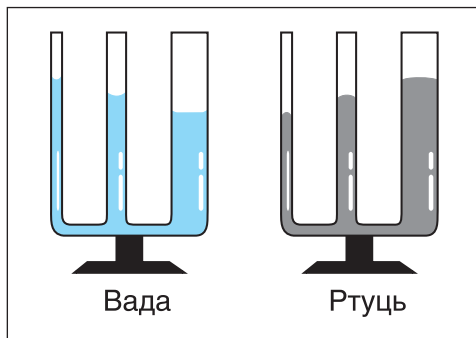
А калі вам спатрэбіцца строга гарызантальна ўстанавіць паверхню стала або праль-



Мал. 179

най машыны? Як у гэтым выпадку вам могуць дапамагчы сазлучаныя сасуды? Прывядзіце яшчэ прыклады выкарыстання сазлучаных сасудаў.

Усе атрыманыя ў гэтым параграфе заканамернасці справядлівыя для шырокіх сасудаў, у якіх паверхні вадкасцей плоскія. У вельмі вузкіх сасудах паверхні вадкасці скрываюцца (мал. 180), і дадзеныя заканамернасці не выконваюцца.



Мал. 180

Галоўныя вывады

1. У шырокіх нерухомах сасудах паверхня вадкасці заўсёды гарызантальная.

2. Узровень паверхняў аднароднай вадкасці ў адкрытых сазлучаных сасудах аднолькавы і не залежыць ад формы сасудаў.

Кантрольныя пытанні

1. Якія сасуды называюцца сазлучанымі?
2. Як даказаць роўнасць узроўняў паверхняў аднароднай вадкасці ў адкрытых сазлучаных сасудах?
3. Дзе знаходзяць практычнае прымяненне сазлучаныя сасуды?
4. Як працуе вежавы водаправод?
5. Як размяшчаюцца паверхні розных вадкасцей, што не змешваюцца, у сазлучаных сасудах? Чаму?



Прыклад рашэння задачы

Паверхня вады ў воданепарнай вежы знаходзіцца на $h = 40$ м вышэй за кухонны водаправодны кран. Вызначце ціск вады ў кране.

Каэфіцыент $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$h = 40 \text{ м}$$

$$g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$p = ?$

Рашэнне

Ціск у кране ўтвараецца слупом вады вышы-
нёй $h = 40 \text{ м}$; $p = g\rho h$, дзе ρ — шчыльнасць вады;

$$\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$p = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 40 \text{ м} = 4,0 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Адказ: $p = 4,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Практыкаванне 19

1. Пры заліўцы вады ў сазлучаныя сасуды ў адной з трубак утварыўся паветраны пузыр. Гэта не дазволіла ўзроўням стаць аднолькавымі (мал. 181). У якой з трубак засеў паветраны пузыр?

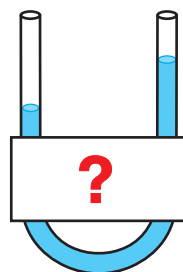
2. У сазлучаныя сасуды рознага папярочнага сячэння наліта вада. Ці будуць аднолькавыя ў сасудах:
а) маса вады m_1 і m_2 ; б) аб'ёмы вады V_1 і V_2 ; в) вышыні ўзроўняў паверхняў вады h_1 і h_2 ; г) гідрастатычны ціск p_1 і p_2 на адным і тым жа ўзроўні?

3. Ціск вады ў кране водаправоднай трубы, што праходзіць па дачным участку, $p = 200 \text{ кПа}$. Вызначце вышыню ад узроўню крана да паверхні вады ў баку воданпорнай вежы.

4. На малы поршань гідраўлічнага прэса дзейнічае сіла $F_1 = 200 \text{ Н}$. Вызначце сілу, якая дзейнічае на вялікі поршань прэса, калі яго плошча ў $k = 10$ разоў большая за плошчу малога поршня.

5. Сазлучаныя сасуды, плошчы сячэння якіх адрозніваюцца ўдвая, запоўнены вадой. Вызначце вагу вады ў вузкай трубцы, калі вага вады ў шырокай трубцы роўна $P = 1,2 \text{ Н}$.

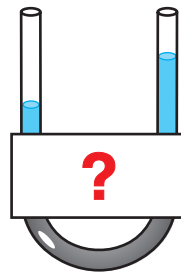
6. Калі на цела, на якое цісне прэс (гл. мал. 169), дзейнічае сіла $F = 100 \text{ Н}$, то яго таўшчыня памяншаецца на $\Delta h = 0,20 \text{ см}$. На колькі паменшыцца таўшчыня цела, калі на малы поршань дзейнічае сіла $F_1 = 200 \text{ Н}$, а яго плошча у $k = 100$ разоў меншая за плошчу вялікага поршня? Лічыць, што памяншэнне таўшчыні прама прапарцыянальна сіле ціску.



Мал. 181



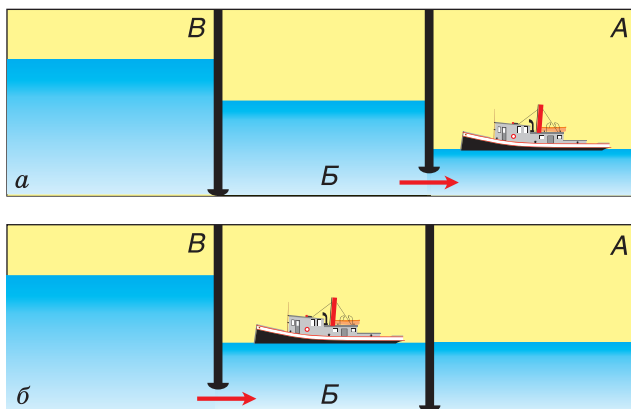
7. У сазлучаныя сасуды налілі ваду і газу. Вызначце вышыню слупа газу, калі вышыня слупа вады, размешчанага вышэй за ўзровень падзелу, роўна $h = 7,2$ см.



Мал. 182



8. У U-падобную трубку спачатку налілі ртуть, а зверху на яе налілі ваду (мал. 182). Вышыня слупа вады ў левым калене h_1 , а ў правым — h_2 . Разлічыце рознасць узроўняў ртуті для выпадку, калі $h_1 = 40$ см, $h_2 = 67,2$ см.



Мал. 183



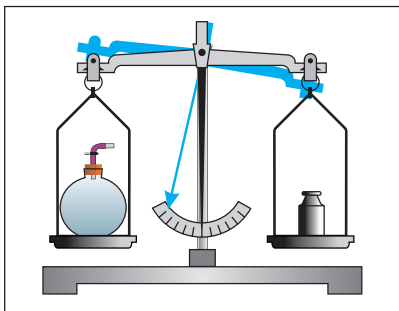
9. На малюнку 183, *а*, *б* схематычна паказана ўстройства шлюза — тэхнічнага збудавання, якое дазваляе ажыццяўляць праход караблёў на рэках, што маюць розныя ўзроўні паверхняў вады. Уважліва разгледзьце малюнак і апішыце, як адбываецца праход караблёў з ніжняга ўзроўню *А* на верхні ўзровень *В* цераз шлюзавую камеру *Б*.

§ 33. Газы і іх вага

Тое, што вадкасць мае вагу, нікога не здзіўляе. Кожны з вас адчуваў вагу, трымаючы ў руцэ вядро вады (мал. 184), бутэльку алею або напітку. Аднак мы не адчуваем змянення вагі футбольнага мяча пры яго напампоўванні паветрам. Чаму?



Мал. 184



Мал. 185

Паглядзіце ў табліцу, дадзеную ў Дадатку 3 падручніка, і параўнайце шчыльнасці паветра і вады. Шчыльнасць паветра амаль у 800 разоў меншая за шчыльнасць вады.

Разлікі паказваюць, што, напрыклад, у моцна напампаваным мячы вага паветра знаходзіцца ў межах 0,1 Н, а яго маса каля 10 г.

Пры дыханні чалавек за суткі прапускае 20—30 кг паветра, што не так ужо і мала.

Пакажам з дапамогай доследу наяўнасць у паветра масы, а значыць і вагі. Ураўнаважым на вагах шклянную пасудзіну, запоўненую паветрам (мал. 185). Адпампуюем з дапамогай помпы паветра і ўзважым пасудзіну паўторна. Яна стала лягчэй. Дабаўляючы на шалю з пасудзінай гіры, можна даведацца, якая маса адпампаванага паветра і яго вага.

Звярніце ўвагу на тое, што паказаныя ў табліцы шчыльнасці газаў даюцца пры «нармальных» умовах, г. зн. пры строга вызначанай тэмпературы і ціску. Пры сцісканні газаў (і звычайнага паветра) іх шчыльнасці могуць ўзрастаць у многа разоў. Такія моцна сціснутыя газы, па-першае, вельмі зручныя пры транспарціроўцы, напрыклад балоны з кіслародам для зваркі або балоны аквалангіста (мал. 186). Па-другое, моцна сціснутыя газы зручна выкарыстоўваць пры рабоце адбойнага малатка (мал. 187) і пнеўматычных (ад грэч. *pnéuma* — подых, ды-



Мал. 186



Мал. 187

ханне) тармазоў, якія ўстанаўліваюцца на магутных аўтамабілях, у тым ліку на аўтамабілях МАЗ і БелАЗ. Прыборы для сціскання розных газаў называюць *камп-рэсарамі*.

Паветраны слой, што акружае нашу Зямлю (зямная атмасфера), таксама мае вагу. На кожную малекулу гэтага слоя дзейнічае Зямля з сілай цяжару. Малекулы зямной атмасферы, калі б на іх не дзейнічала сіла цяжару, рухаючыся хаатычна, даўно б пакінулі нашу планету. Але прыцяжэнне Зямлі імкнецца размясціць іх каля паверхні, што прыводзіць да неаднароднасці атмасферы. Яе шчыльнасць прыметна памяншаецца з вышынёй. Так, на вышыні 6 км шчыльнасць паветра ўжо ў два разы меншая, чым каля паверхні Зямлі. На вышыні 40 км яна роўна $0,004 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а на вышыні 400 км, дзе лятаюць спадарожнікі, аб атмасферы можна гаварыць толькі ўмоўна, паколькі шчыльнасць яе вельмі маленькая: $\rho \approx 3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Галоўныя вывады

1. Газы валодаюць масай і вагой.
2. Зямная атмасфера валодае вагой у выніку дзеяння на яе прыцяжэння Зямлі.
3. Дзеянне сілы цяжару і хаатычны рух малекул прыводзяць да неаднолькавай шчыльнасці зямной атмасферы.

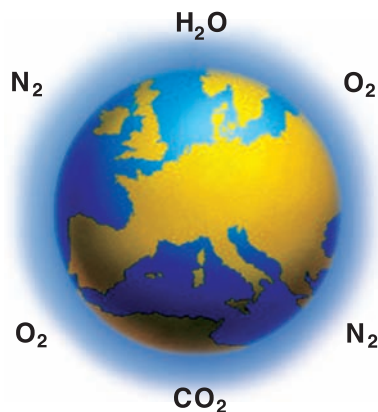
Кантрольныя пытанні

1. Як даказаць, што газ (паветра) мае масу?
2. Чаму пры ўказанні шчыльнасці газаў адзначаюць умовы, пры якіх знаходзіцца газ?
3. Чаму газы выкарыстоўваюць часцей за ўсё сціснутымі?
4. Як змяняецца шчыльнасць паветра са змяненнем вышыні? Чаму?

§ 34. Атмасферны ціск

Вы ведаеце, што атмасфера Зямлі — газавая абалонка (мал. 188), у якую ўваходзяць азот, кісларод, вуглякіслы газ, вадзяная пара і іншыя газы.

Усякі газ, калі ён знаходзіцца ў пасудзіне, утварае ціск на сценкі пасудзіны, паколькі малекулы газа няспынна бамбардзіруюць гэтыя сценкі. А ці ўтварае ціск атмасфера Зямлі? Чым абумоўлены гэты ціск?



Мал. 188

Атмасфера ўтрымліваецца сілай цяжару, што дзейнічае з боку Зямлі. У выніку дзеяння гэтай сілы верхнія слаі атмасферы ціснуць на ніжнія. Таму ніжні слой з'яўляецца найбольш сціснутым. Ціск аднаго слоя атмасферы на другі паводле закона Паскаля перадаецца па ўсім напрамкам і дзейнічае на любое цела: на будынкі, на расліны, на людзей! Гэты ціск называюць *атмасферным*.

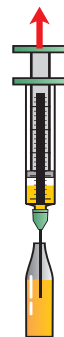
Такі ціск можна разлічыць тэарэтычна. Вынік гэтых разлікаў літаральна ашаламляе! Атмасферны ціск аказваецца роўным прыкладна $100\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Інакш кажучы, на кожны квадратны сантыметр нашага цела дзейнічае сіла 10 Н, а на ўсю плошчу паверхні цела (прымем яе за 1 м²) сіла 100 000 Н. Гэта роўна вазе дзесяцітоннага МАЗа! Як жа мы жывём пад такім гіганцкім ціскам?

Успомнім глыбакаводных рыб, пра якіх ішла гаворка раней. Падобна да іх, мы проста не заўважаем гэтай гіганцкай сціскаючай сілы, паколькі яна кампенсуецца роўнай ёй расшыраючай сілай, ствараемай ціскам паветра, якое ёсць унутры нас, яно растварана нават у нашай крыві.

Дык што ж, атмасферны ціск наогул нельга выявіць? Для адказу звернемся да доследу. Возьмем шклянку з вадой, накрыйем яе лістом паперы, перавернем, прытрымліваючы рукой ліст, а затым прыем руку (мал. 189). Вада не выліваецца, ліст не адрываецца. Сіла атмасфернага ціску, прыкладзеная да ліста паперы, кампенсуе дзеянне вагі налітай вады.



Мал. 189



Мал. 190

Апусціце іголку шпрыца ў ваду і падымайце поршань уверх. Вы ўбачыце, што вадкасць падымаецца ўслед за поршнем (мал. 190) у напрамку, супрацьлеглым дзеянню сілы цяжару. А што прымушае сок падымацца ўверх па трубачцы (мал. 191)?

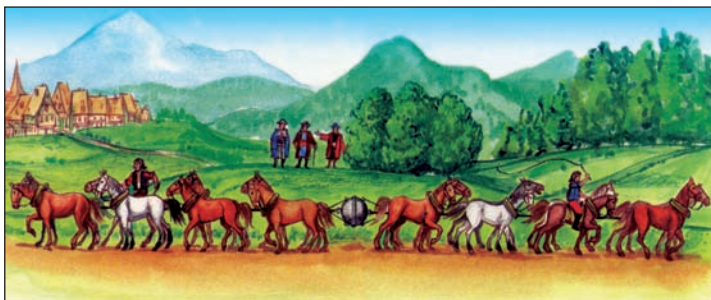
Такіх доследаў, у якіх выяўляецца дзеянне атмасфернага ціску, шмат.

Праводзіўся нават дослед-спектакль (мал. 192), у якім удзельнічалі амаль усе жыхары цэлага горада і 16 коней. З прасторы паміж двума аднолькавымі меднымі паўшар'ямі было выпампавана паветра. Для разрыву паўшар'яў спатрэбілася 8 пар самых моцных коней. Разрыў суправаджаўся моцным воплескам, падобным да гуку стрэлу. Дослед быў праведзены ў нямецкім горадзе Магдэбургу ў сярэдзіне XVII ст. вучоным Ота фон Герыке.

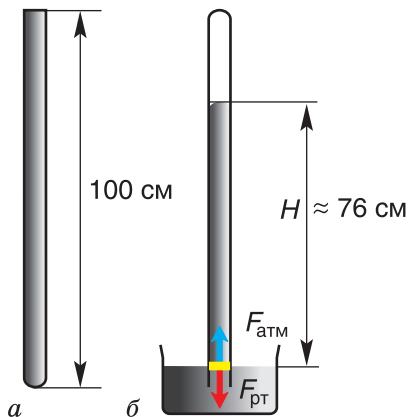
Як вымераць атмасферны ціск? Разгледзім найбольш важны з доследаў, праведзены ў 1643 г. па прапанове італьянскага фізіка і



Мал. 191



Мал. 192



Мал. 193

матэматыка Аванджэлісты Тарычэлі.

У гэтым доследзе метровая шкляная трубка, што запаяна з аднаго боку (мал. 193, а) запаўнялася ртуцю. Верхні канец трубки закрываўся пальцам, трубка пераварочвалася і апускалася ў шырокую пасудзіну з ртуцю, пасля чаго палец прымаўся. Частка ртуці выцякала з трубки ў пасудзіну. У трубцы заставаўся слуп ртуці вышынёй H каля 76 см (760 мм) (мал. 193, б).

Дык што ж утрымлівала ад выцякання ртуць, якая засталася ў трубцы? Шырокая пасудзіна і трубка — гэта ж, па сутнасці, сазлучаныя сасуды. Над ртуцю ў трубцы паветра няма. На ртуць у шырокай пасудзіне дзейнічае атмасферны ціск, які вадкая ртуць перадае па ўсіх напрамках (і ўверх). Сіла гэтага ціску і падтрымлівае ртутны слуп.

Разгледзім умовы раўнавагі тонкага слоя ртуці (на малюнку 193, б пазначаны жоўтым колерам).

Гэтыя ўмовы патрабуюць, каб сіла атмасфернага ціску знізу і сіла гідрастатычнага ціску слупа ртуці зверху былі роўныя. А гэта значыць, што $p_{\text{атм}} = p_{\text{гідраст}}$. Такім чынам, вымераўшы вышыню слупа ртуці H , мы можам разлічыць яго ціск па формуле $p_{\text{гідраст}} = \rho g H$, і тым самым вызначыць велічыню атмасфернага ціску.

Паколькі атмасферны ціск вызначаецца вышынёй слупа ртуці, то зразумела, чаму вельмі часта яго вымяраюць не ў міжнародных адзінках (паскалях), а ў міліметрах ртутнага слупа. Выразім у паскалях пазасістэмную адзінку ціску 1 міліметр ртутнага слупа (скарочана 1 мм рт. сл.):

$$p_{1 \text{ мм рт. сл.}} = \rho g h = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \text{ Па}.$$

Па дамоўленасці, атмасферны ціск лічаць *нармальным*, калі ён роўны ціску слупа ртуці вышынёй $h = 760$ мм пры тэмпературы

$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такі ціск называюць адна нармальная, або фізічная, атмасфера (скарочана 1 атм):

$$1\text{ атм} = 760\text{ мм рт. сл.} = 101\,325\text{ Па.}$$

У большасці выпадкаў мы будзем карыстацца акругленым значэннем: $1\text{ атм} \approx 100\text{ кПа}$.

Галоўныя вывады

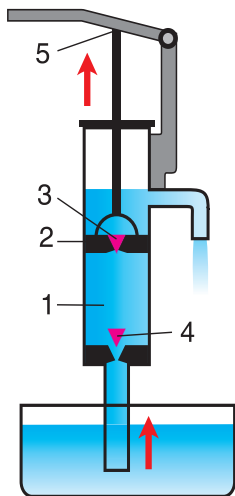
1. Утрымліваемая зямным прыцяжэннем атмасфера Зямлі ўтварае ціск.
2. Чалавек не адчувае гэтага ціску, паколькі ціск дзейнічае як звонку, так і знутры яго.
3. За нармальны атмасферны ціск прыняты ціск слупа ртуці вышыняй 760 мм.

Кантрольныя пытанні

1. Што называецца атмасферным ціскам і якая прычына яго існавання?
2. Чаму мы, як правіла, не адчуваем атмасфернага ціску?
3. У чым значэнне доследу Тарычэлі?
4. Назавіце ўсе вядомыя вам адзінкі атмасфернага ціску.

Практыкаванне 20

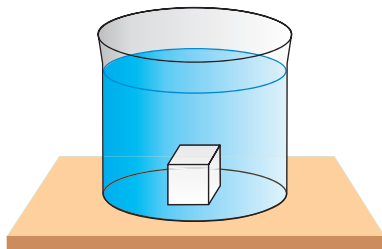
1. Чаму цяжка піць сок з бутэлькі або пакета, не ўпускаючы ў іх паветра?
2. Чаму абсалютна недапушчальная страта герметычнасці скафандра касманаўта, які працуе ў адкрытым космасе?
3. Выразіце ў кілапаскалях атмасферны ціск:
а) $p_1 = 700\text{ мм рт. сл.}$; б) $p_2 = 750\text{ мм рт. сл.}$
4. Вызначце вышыню слупа ртуці, які ўраўнаважваецца атмасферным ціскам $p = 90\text{ кПа}$.
5. Пры якім значэнні атмасфернага ціску на вокладку кнігі плошчай паверхні $S = 4,0\text{ дм}^2$, што ляжыць на сталe, дзейнічае сіла $F = 3,6\text{ кН}$?
6. Растлумачце прыныцы дзеяння медыцынскай банькі.



Мал. 194



7. На малюнку 194 схематична адлюстравана ўстройства ўсмоктвальнай помпы: 1 — цыліндрывая трубка; 2 — поршань; 3, 4 — металічныя клапаны; 5 — шток і ручка. Як працуе помпа?



Мал. 195



8. Кубік з кантам, роўным $a = 50$ мм, масай $m = 900$ г ляжыць на дне пасудзіны, у якую наліта вада да вышыні $h = 15$ см (мал. 195). Вызначце вертыкальную сілу, якую трэба прыкласці ў цэнтры верхняй грані кубіка, каб адарваць яго ад дна. Вада пад кубік не прасочваецца. Атмасферны ціск роўны $p = 760$ мм рт. сл. Каэфіцыент g прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

§ 35. Вымярэнне атмасфернага ціску. Барометры і манометры

Штодзённа мы атрымліваем інфармацыю аб велічыні атмасфернага ціску і яго змяненні. Чаму ціск не з'яўляецца пастаянным? Чаму на розных тэрыторыях Зямлі ціск розны? Як залежыць ціск ад вышыні?

Атмасферны ціск залежыць ад складу паветра. Так, напрыклад, пры паступленні вільготнага паветра, насычанага вадзяной парай, ціск памяншаецца, паколькі маса малекул вады прыметна меншая за масу «асноўных» малекул атмасферы — малекул азоту і кіслароду.

Найбольш сціснутымі, а значыць, больш шчыльнымі, з'яўляюцца слаі атмасферы, якія прылягаюць да паверхні Зямлі. Таму

значэнне атмасфернага ціску залежыць ад вышыні месца над узроўнем мора. На вяршыні самай высокай ($h = 8846,1$ м) гары Эверэст (мал. 196) ціск амаль у 3 разы меншы за ціск каля яе падножжа.



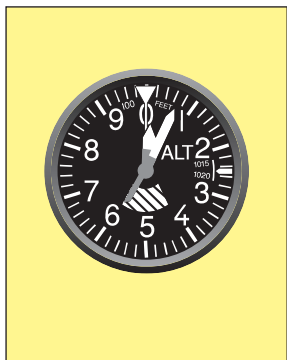
Мал. 196

Ціск вадкасці ад вышыні слупа залежыць прама прапарцыянальна ($p = \rho gh$). Залежнасць жа атмасфернага ціску ад вышыні апісваецца значна больш складанай формулай.

Аднак для разлікаў, якія не патрабуюць вялікай дакладнасці, і пры не вельмі вялікіх вышынях можна лічыць, што **ціск памяншаецца на 1 мм рт. сл. пры пад'ёме на кожныя 12 м**. Залежнасць ціску ад вышыні можна выкарыстаць для вымярэння вышыні пад'ёму (альпіністаў, лятальных апаратаў). Так, калі пры пад'ёме ціск памяншыўся на 20 мм рт. сл., то гэта значыць, што вышыня пад'ёму:

$$h \approx 20 \text{ мм рт. сл.} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. сл.}} = 240 \text{ м.}$$

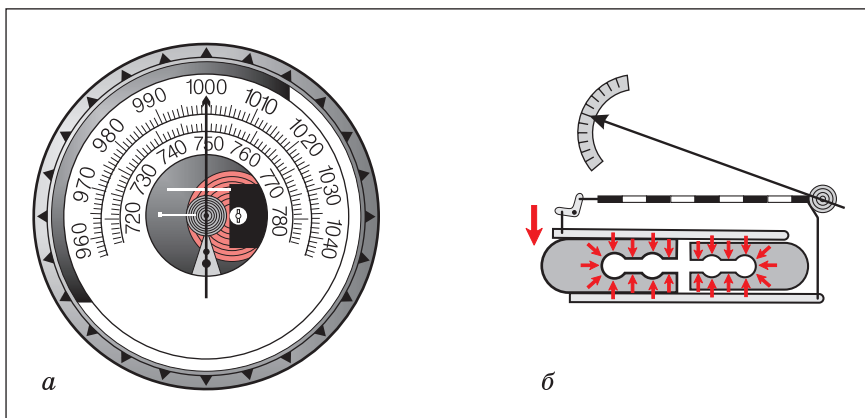
Прыборы, што вымяраюць вышыню па такому прынцыпу, называюць *альтыметрамі* (ад лац. *altius* — вышэй) (мал. 197).



Мал. 197

Атмасферны ціск вымяраюць *барометрамі*. Прасцейшым барометрам з'яўляецца пасудзіна з ртуццю і трубка, выкарыстаная ў доследзе Тарычэлі (гл. мал. 193). Аднак ртутныя барометры не знаходзяць шырокага прымянення, хаця маюць высокую дакладнасць. Пара ртуці шкодная для чалавека. На практыцы ў асноўным карыстаюцца металічным барометрам — *анероідам*.

Вонкавы выгляд і ўнутранае ўстройства барометра-анероіда адлюстраваны на малюн-



Мал. 198

ку 198, а, б. Галоўнай часткай анероида з'яўляецца бляшаначка з хвалістай (гафрыраванай) верхняй і ніжняй паверхнямі. Паветра з бляшаначкі часткова адпампаванае.

Пры павелічэнні атмасфернага ціску павялічваецца сіла ціску на бляшаначку. Бляшаначка сціскаецца і расцягвае sprужыну, прымацаваную да яе. Sprужына звязана са стрэлкай, якая перамяшчаецца па шкале ў бок большых значэнняў ціску.

Калі ціск зніжаецца, сіла ціску на бляшаначку памяншаецца, сілы пругкасці выпростваюць бляшаначку, і стрэлка перамяшчаецца па шкале ў процілеглы бок.

Шкалу анероида папярэдне градуіруюць, г. зн. наносяць дзяленні па паказаннях ртутнага барометра. Значэнні ціску на шкале выражаны ў міліметрах ртутнага слупа і ў гектапаскалях (гПа).

Для вымярэння рознасці паміж ціскам у пасудзіне і атмасферным ціскам карыстаюцца *манометрамі*. Прасцейшы манометр — вадкасны — уяўляе сабой разгледжаную намі ў § 32 U-падобную трубку з вадкасцю (гл. мал. 176).

Адно калена трубка (мал. 199) далучаецца да пасудзіны, ціск у якой трэба вымераць. Другое калена адкрытае. Калі ўзровень паверхні вадкасці ў калене, злучаным з пасудзінай, ніжэйшы за ўзровень у адкрытым калене, значыць, ціск газу p_1 у пасудзіне большы за

атмасферны ціск p_0 на велічыню ціску слупа вадкасці вышынёй h , г. зн. $p_1 - p_0 = g\rho h$.

Вадкаснымі манометрамі можна вымераць ціск, які адрозніваецца ад атмасфернага толькі нязначна. Так, калі ў нашым прыкладзе ціск у пасудзіне будзе ў 2 разы большы за атмасферны, г. зн. $p_1 = 2p_0$, то, згодна з формулай $p_1 = p_0 + g\rho h$, маем:

$$g\rho h = 2p_0 - p_0, \text{ адкуль } h = \frac{p_0}{g\rho}.$$

Пры выкарыстанні ў манометры вады

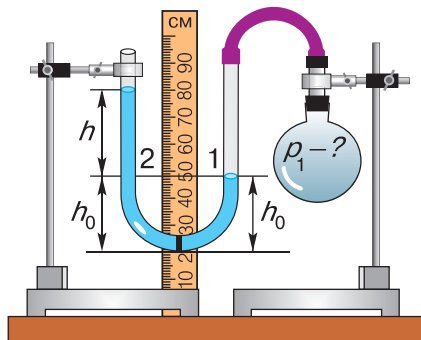
$$h = \frac{100\,000 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м!}$$

Уявіце сабе памеры такога прыбора (мал. 200)! Пры выкарыстанні ртуці памеры памяншаюцца ў 13,6 разоў, але ўзнікаюць новыя праблемы — пара ртуці ядавітая.

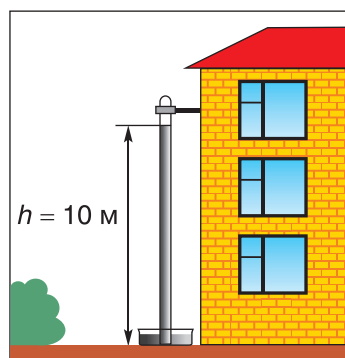
А калі ціск газу ў некалькі разоў большы за атмасферны? Для вымярэння высокіх ціскаў ужываюць металічны манометр (мал. 201). Яго асноўным элементам з'яўляецца полая танкаścенная металічная трубка (1), сагнутая ў дугу. Адзін канец трубки закрыты, другі (2) далучаецца да пасудзіны з газам.

Закрыты канец (3) праз зубчасты механізм злучаны са стрэлкай, якая рухаецца адносна шкалы.

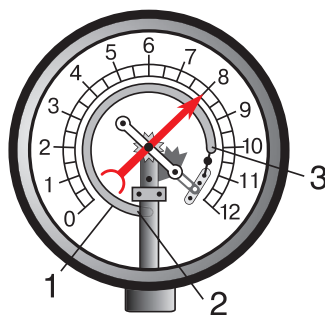
Чым большы ціск у трубе, а ён у ёй такі самы, як у пасудзіне, тым



Мал. 199



Мал. 200



Мал. 201



Мал. 202

больш выпростаецца трубка і тым больш адхіляецца стрэлка. Нуль на шкале адпавядае атмасфернаму ціску. Значыць, калі стрэлка стаіць на лічбе «8» (гл. мал. 201), ціск у пасудзіне ў 9 разоў большы за атмасферны. Менавіта так устроены манометр для кантролю за ціскам у аўтамабільных шынах (мал. 202).

Галоўныя вывады

1. Атмасферны ціск залежыць ад вышыні мясцовасці і метэаўмоў.
2. Залежнасць атмасфернага ціску ад вышыні і метэаўмоў можна выкарыстаць для вымярэння вышыні і для прагнозу надвор'я.
3. Атмасферны ціск вымяраюць барометрамі, а ціск газаў у пасудзінах — манометрамі.

Кантрольныя пытанні

1. Чаму, калі самалёт набірае вышыню або ідзе на пасадку, пасажыры адчуваюць боль у вушах?
2. Якімі прыборамі вымяраецца ціск?
3. Ці можна, маючы барометр, вымераць вышыню гары? Што можна сказаць аб дакладнасці такіх вымярэнняў? Чаму?
4. Чаму нельга вымераць вялікія ціскі вадкасным манометрам?

Прыклад рашэння задачы

У падножжа гары барометр паказвае ціск $p_1 = 750$ мм рт. сл., а на яе вяршыні — $p_2 = 740$ мм рт. сл. Вызначце вышыню гары.

Дадзена:

$$p_1 = 750 \text{ мм рт. сл.}$$

$$p_2 = 740 \text{ мм рт. сл.}$$

$$H = ?$$

Рашэнне

Рознасць ціскаў у падножжа гары і на яе вяршыне:

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= 750 \text{ мм рт. сл.} - 740 \text{ мм рт. сл.} = \\ &= 10 \text{ мм рт. сл.} \end{aligned}$$

Будзем улічваць, што на 1 мм рт. сл. ціск памяншаецца пры пад'ёме прыкладна на вышыню $h_0 = 12$ м. Тады вышыня гары:

$$H = 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. сл.}} \cdot 10 \text{ мм рт. сл.} = 120 \text{ м.}$$

Адказ: $H = 120$ м.

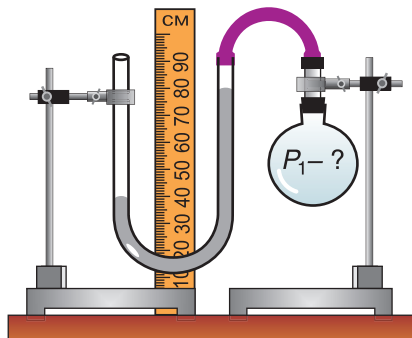
Практыкаванне 21

1. Унутры касмічных караблёў (у бязважкасці) касманаўты дыхаюць паветрам. Ці ўтварае гэтае паветра ціск? Ці можна гэты ціск назваць атмасферным?

2. Чаму ў Мінску амаль не бывае ціску, прынятага за нармальны? (Практычна цэлы год у Мінску ціск меншы за 760 мм рт. сл.)

3. У класе барометр паказвае ціск $p_1 = 750$ мм рт. сл., а на беразе возера — $p_2 = 753$ мм рт. сл. Вызначце, на якой вышыні над узроўнем возера размешчана аднапавярховая школа.

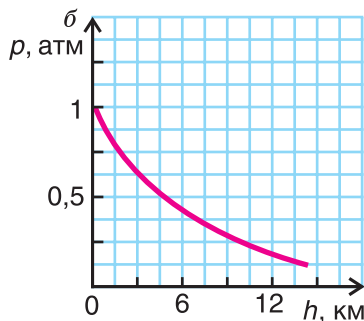
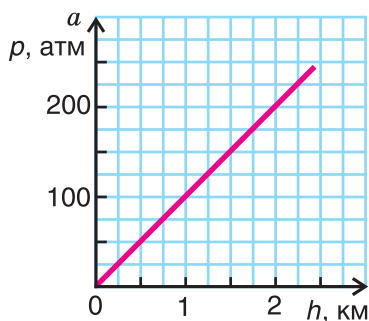
4. Вызначце ціск газа ў колбе (мал. 203), калі ў манометры выкарыстана ртуть. Якія значэнні ціску можна вымераць гэтым манометрам?



Мал. 203



5. На графіках паказана змяненне ціску са змяненнем адлегласці ад паверхні Зямлі ў водным (мал. 204, а) і паветраным (мал. 204, б) акіях Зямлі. Якую інфармацыю вы можаце атрымаць з графікаў?



Мал. 204

§ 36. Дзеянне вадкасці і газу на пагружанае ў іх цела

Кожнаму з нас вядома, што апушчанае ў ванну з вадой полая пластыкавая цацка адразу ж усплывае наверх. Вядома, што вядома, што апушчанае ў ванну з вадой полая пластыкавая цацка адразу ж усплывае наверх. Вядома, што вядома, што апушчанае ў ванну з вадой полая пластыкавая цацка адразу ж усплывае наверх.

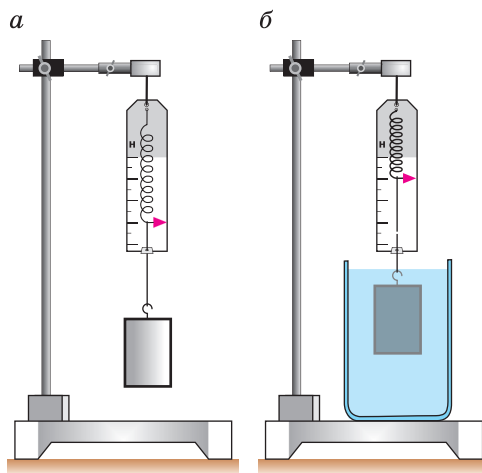


Мал. 205

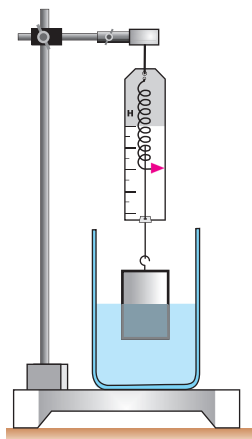
калодзежа, пакуль яно знаходзіцца ў вадзе, падымаць лёгка, як быццам яно пустое. А ў паветры гэта зрабіць цяжка. Якая сіла дапамагае нам у пад'ёме вядра вады ўнутры калодзежа? Якая сіла падымае ўверх дзіцячы паветраны шарык (мал. 205), шар-зонд? Адказы на пытанні атрымаем, правёўшы дослед.

Да дынамометра (мал. 206, а) падвесім алюмініевы цыліндр. Зафіксуем паказанні дынамометра. Будзем апускаць цыліндр у шклянку з вадой (мал. 206, б) і сачыць за змяненнямі паказанняў дынамометра. Мы бачым, што па меры апускання цыліндра ў вадку, паказанні дынамометра памяншаюцца. Гэты факт гаворыць аб тым, што на цела, апушчанае ў вадкасць, дзейнічае з боку вадкасці накіраваная ўверх сіла — *выштурхваючая сіла*. Яе значэнне, відавочна, роўна рознасці ў паказаннях дынамометра.

Ад чаго залежыць гэтая сіла? Для атрымання адказу працягнем дослед. Апусцім цыліндр у вадку на палову яго аб'ёму (мал. 207). Выштурхваючая сіла паменшылася ў два разы. З гэтага вынікае, што **чым большы пагружаны ў вадкасць аб'ём цела, тым большая выштурхваючая сіла дзейнічае на цела**.



Мал. 206

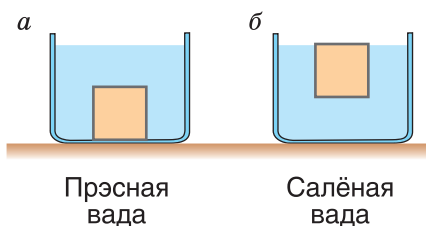


Мал. 207

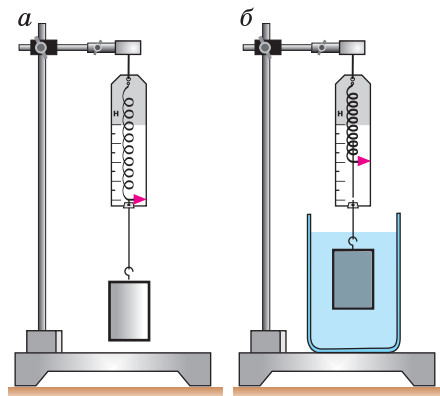
А ці залежыць выштурхваючая сіла ад шчыльнасці вадкасці? Правядзём дослед. У шклянку з прэснай вадой апусцім кубік з сырой бульбы (мал. 208, а). Кубік тоне. Дабавім у вадку солі і размяшаем. Апусцім у салёную вадку кубік. Ён не тоне. Яго верхняя частка будзе знаходзіцца над паверхняй вадкасці (мал. 208, б). Значыць, выштурхваючая сіла, што дзейнічае на кубік у салёнай вадзе, большая за сілу, што дзейнічае ў прэснай. Але і шчыльнасць салёнай вадкі большая за шчыльнасць прэснай. Такім чынам, **чым большая шчыльнасць вадкасці, тым большая выштурхваючая сіла** дзейнічае на апушчанае ў яе цела.

А ці залежыць выштурхваючая сіла ад шчыльнасці рэчыва пагружанага цела? Заменім у доследзе, прыведзеным у пачатку параграфа, алюмініевы цыліндр на роўны яму па аб'ёму жалезны (мал. 209, а). Шчыльнасць алюмініевага цыліндра амаль у тры разы меншая за шчыльнасць жалезнага. Пры апусканні ў вадку жалезнага цыліндра змяненні паказанняў дынамометра (мал. 209, б) будуць такімі ж, як і ў выпадку алюмініевага цыліндра. Значыць, **выштурхваючая сіла не залежыць ад шчыльнасці рэчыва пагружанага ў вадкасць цела**.

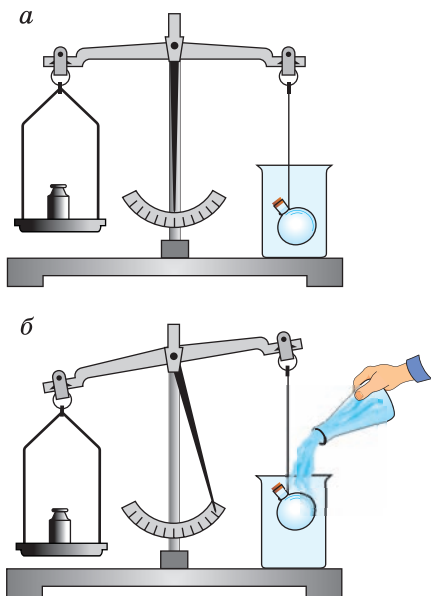
Абагульняючы вынікі доследаў, можна сцвярджаць, што **выштурхваючая сіла**, што дзейнічае на цела, пагружанае цалкам або часткова ў вадкасць, **тым большая, чым**



Мал. 208



Мал. 209



Мал. 210

большы аб'ём цела, пагружанага ў вадкасць, і чым большая шчыльнасць вадкасці.

Аналагічна вадкасці на цела дзейнічае і газ, у які апушчана цела. Упэўнімся ў гэтым з дапамогай доследу. Ураўнаважым на вагах шкляную колбу з паветрам (мал. 210, а), апушчаную ў пасудзіну. Выльем у пасудзіну (газы таксама можна пераліваць) вуглякіслы газ. Раўнавага шалёў парушыцца (мал. 210, б). На колбу дзейнічае выштурхваючая сіла з боку больш цяжкага вуглякіслага газу, у які яна пагружана.

Галоўныя вывады

1. На любое цела, пагружанае ў вадкасць (газ), дзейнічае з боку вадкасці (газу) выштурхваючая сіла.
2. Выштурхваючая сіла накіравана вертыкальна ўверх.
3. Выштурхваючая сіла тым большая, чым большы пагружаны ў вадкасць (газ) аб'ём цела і шчыльнасць вадкасці (газу).
4. Выштурхваючая сіла не залежыць ад шчыльнасці рэчыва пагружанага ў вадкасць (газ) цела.

Кантрольныя пытанні

1. Якія сілы дзейнічаюць на пагружанае ў вадкасць (газ) цела?
2. Ці залежыць выштурхваючая сіла ад шчыльнасці рэчыва, з якога выраблена пагружанае ў вадкасць (газ) цела? Ад аб'ёму цела?
3. Як залежыць выштурхваючая сіла ад шчыльнасці вадкасці (газу)?
4. Чаму спецыяльна абучаны сабака лёгка выцягвае з вады чалавека, які тоне, а на беразе ледзь ссоўвае яго з месца?

5. Калі аб'ём першага цела большы за аб'ём другога ў 2 разы, а шчыльнасць рэчыва першага цела ў 2 разы меншая за шчыльнасць рэчыва другога, то ў колькі разоў будуць адрознівацца выштурхваючыя сілы, што дзейнічаюць на цёлы пры іх поўным апусканні ў адну і тую ж вадкасць?

§ 37. Закон Архімеда. Умовы плавання цёл

Значэнне выштурхваючай сілы, якая дзейнічае на цёла, пагружанае ў вадкасць, можна вызначыць доследным шляхам па паказаннях дынамометра з падвешаным да яго цёлам у павётры і ў вадкасці (звярніцеся яшчэ раз да § 36). А ці можна вылічыць значэнне выштурхваючай сілы?

Разгледзім сілы, з якімі вадкасць дзейнічае на пагружанае ў яе цёла. Для прастаты разважанняў дапусцім, што цёла мае форму цыліндра або прамавугольнага паралелепіпеда (мал. 211).

На верхнюю аснову цёла ўніз дзейнічае сіла гідрастатычнага ціску $F_1 = p_1 S$. Гідрастатычны ціск p_1 утвараецца вагой слупа вадкасці вышынёй h_1 (гл. мал. 211): $p_1 = g\rho_v h_1$. Значыць, сіла:

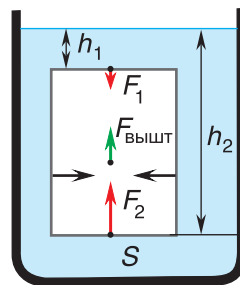
$$F_1 = g\rho_v h_1 S.$$

На ніжнюю аснову ўверх (закон Паскаля) дзейнічае з боку вадкасці сіла ціску $F_2 = p_2 S$. Гідрастатычны ціск $p_2 = g\rho_v h_2$, сіла:

$$F_2 = g\rho_v h_2 S.$$

Вышыня слупа вадкасці h_2 большая за h_1 . Значыць, сіла гідрастатычнага ціску F_2 , што дзейнічае на цёла ўверх, большая за сілу F_1 , накіраваную ўніз.

Сілы ціску, з якімі вадкасць дзейнічае на бакавую паверхню цёла (гл. мал. 211), папарна роўныя і супрацьлеглыя адна адной. Таму яны толькі сціскаюць цёла, але не выштурхваюць яго.



Мал. 211

Рознасць сіл гідрастатычнага ціску вадкасці, што дзейнічаюць на ніжнюю і верхнюю асновы цела, ёсць выштурхваючая сіла.

$$F_{\text{вышт}} = F_2 - F_1 = g\rho_v h_2 S - g\rho_v h_1 S = g\rho_v S(h_2 - h_1).$$

З малюнка відаць: $h_2 - h_1 = h_{\text{цела}}$. Тогда $F_{\text{вышт}} = g\rho_v Sh_{\text{цела}}$.

Здабытак $Sh_{\text{цела}} = V_{\text{цела}}$ роўны аб'ёму цела, а здабытак шчыльнасці вадкасці на аб'ём цела $\rho_v V_{\text{цела}} = m_v$ роўны масе вадкасці ў аб'ёме пагружанага цела. Вага гэтай вадкасці $P = gm_v$. Значыць,

$$F_{\text{вышт}} = g\rho_v V_{\text{пагруж. цела}} = gm_v.$$

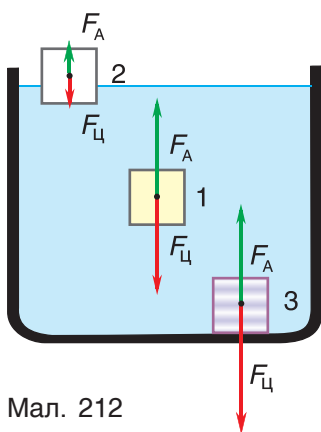
Аналагічна можна вылічыць выштурхваючую сілу, што дзейнічае на цела, пагружанае ў газ.

Такім чынам, **на цела, пагружанае ў вадкасць (газ), дзейнічае выштурхваючая сіла, накіраваная вертыкальна ўверх і роўная вазе вадкасці (газу) у аб'ёме пагружанага цела (або яго часткі).**

Гэта *закон Архімеда*.

Значэнне выштурхваючай сілы прыкладна за 250 гадоў да н. э. разлічыў старажытнагрэчаскі вучоны Архімед. Выштурхваючую сілу называюць *сілай Архімеда*.

Адкажам яшчэ на адно пытанне. Чаму ў адной і той жа вадкасці (напрыклад, вадзе) адны целы (камяні) тонуць, другія (драўляныя шчэпкі) усплываюць, а трэція (рыбы, падводныя лодкі) могуць плаваць унутры вадкасці? Звернемся да доследу. У шклянку



Мал. 212

(мал. 212) з насычаным растворам солі ў вадзе дабавім (праз трубку, каб вадкасці не перамешваліся) прэсную ваду. Апусцім у шклянку аднародныя кубікі з сырой бульбы (1), пенапласту (2) і пластыліну (3). Пластылінавы кубік апусціцца на дно, пенапластавы будзе толькі часткова апушчаны ў вадкасць, а кубік з бульбы будзе знаходзіцца ўнутры вадкасці (гл. мал. 212).

А ці можна загадзя прадказаць, як будзе паводзіць сябе цела ў вадкасці?

Аб'ёмы кубікаў аднолькавыя, але шчыльнасці рэчываў, з якіх выраблены кубікі, — розныя: $\rho_{\text{пласт}} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $\rho_{\text{бульбы}} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $\rho_{\text{пенапл}} = 0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. (Дадзеныя значэнні шчыльнасцей толькі прыкладныя.)

Шчыльнасць салёнай вады $\rho_{\text{вады}} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Параўнаем шчыльнасці рэчыва кубікаў і вадкасці, у якую апушчаны кубікі.

1) $\rho_{\text{пласт}} > \rho_{\text{вады}}$, або $\rho_{\text{цела}} > \rho_{\text{в}}$.

Калі шчыльнасць рэчыва цела большая за шчыльнасць вадкасці, цела ў вадкасці тоне (кубік з пластыліну ляжыць на дне).

2) $\rho_{\text{бульбы}} = \rho_{\text{вады}}$, або $\rho_{\text{цела}} = \rho_{\text{в}}$.

Калі шчыльнасць рэчыва цела роўна шчыльнасці вадкасці, цела плавае ўнутры вадкасці (кубік з бульбы плавае ўнутры вадкасці).

3) $\rho_{\text{пенапл}} < \rho_{\text{вады}}$, або $\rho_{\text{цела}} < \rho_{\text{в}}$.

Калі шчыльнасць рэчыва цела меншая за шчыльнасць вадкасці, цела плавае, толькі часткова апусціўшыся ў вадкасць (кубік з пенапласту толькі часткова апушчаны ў вадкасць).

Самастойна параўнайце сілы цяжару і сілы Архімеда для ўсіх кубікаў.

Галоўныя вывады

1. Прычынай узнікнення выштурхваючай сілы (сілы Архімеда) з'яўляецца дзеянне на пагружанае цела зверху і знізу з боку вадкасці (газа) сіл гідрастатычнага (аэрастатычнага) ціску.

2. У законе Архімеда сцвярджаецца: «На цела, пагружанае ў вадкасць (газ), дзейнічае з боку вадкасці (газу) выштурхваючая сіла, роўная вазе вадкасці (газу) у аб'ёме пагружанага цела (або яго часткі)».

3. Аднароднае цела ў вадкасці тоне, калі шчыльнасць рэчыва цела большая за шчыльнасць вадкасці; плавае ўнутры, калі шчыльнасці рэчыва цела і вадкасці роўныя, і плавае, часткова апусціўшыся ў вадкасць, калі шчыльнасць рэчыва цела меншая за шчыльнасць вадкасці.

Кантрольныя пытанні

1. Якія сілы дзейнічаюць на цела, што плавае ўнутры вадкасці? Што знаходзіцца на дне пасудзіны з вадкасцю? Што пагружана ў вадкасць толькі на частку свайго аб'ёму?

2. Ад чаго залежыць значэнне выштурхваючай сілы, што дзейнічае на цела, пагружанае: а) у вадкасць; б) у газ?



3. Ці будзе змяняцца выштурхваючая сіла, якая дзейнічае на аквалангіста, па меры яго паступовага пагружэння ў вадаём на некаторую глыбіню?

4. На які з кубікаў (гл. мал. 212) дзейнічае самая малая і самая вялікая выштурхваючая сіла? Чаму? Параўнайце F_A і $F_{ц}$.

Прыклад рашэння задачы

Плошча льдзіны $S = 5,0 \text{ м}^2$. На колькі павялічыцца глыбіня апускання льдзіны, калі на яе ляжа марскі коцік масай $m = 100 \text{ кг}$?

Дадзена:

$$S = 5,0 \text{ м}^2$$

$$m = 100 \text{ кг}$$

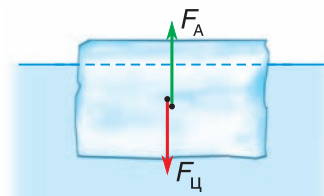
$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Δh — ?

Рашэнне

На льдзіну ў вадзе дзейнічае сіла цяжару $F_{ц}$ і сіла Архімеда F_A (мал. 213):

$$F_{ц} = F_A.$$



Мал. 213

Пасля таго як на льдзіну ляжа коцік, сіла цяжару, што дзейнічае на льдзіну з коцікам, павялічыцца. Дакладна на столькі ж павялічыцца сіла Архімеда, паколькі льдзіна па-ранейшаму знаходзіцца ў раўнавазе (спакой). Значыць, ільдзіна апусціцца ў ваду больш. Павелічэнне сілы Архімеда $\Delta F = g\rho_{\text{в}}\Delta V = g\rho_{\text{в}}S\Delta h$ і роўна сіле цяжару $F_{ц1}$, якая дзейнічае толькі на коціка: $\Delta F = F_{ц1}$, або $g\rho_{\text{в}}S\Delta h = gm$. Адсюль:

$$\Delta h = \frac{m}{\rho_{\text{в}}S} = \frac{100 \text{ кг}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \text{ м}^2} = 0,02 \text{ м} = 2 \text{ см}.$$

Адказ: $\Delta h = 2 \text{ см}$.

Практыкаванне 22

1. Аднародныя шары аднолькавага аб'ёму з парафіну, корка, аргшкла і алюмінію апускаюць у ваду. Намалюйце схематычна становішча шароў у вадзе. У якіх з непатануўшых шароў глыбіня апускання ў вадку большая?

2. Масы цагліны і жалезнага бруска аднолькавыя. Якое з гэтых цел лягчэй трымаць у паветры? У вадзе?

3. Вызначце сілу Архімеда, што дзейнічае на хлопчыка, які нырнуў пад вадку. Аб'ём цела хлопчыка $V = 0,030 \text{ м}^3$. Каэфіцыент g тут і ў наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. На гайку, апушчаную ў газу, дзейнічае выштурхваючая сіла $F = 16 \text{ мН}$. Вызначце аб'ём гайкі.

5. На колькі лягчэй падымаць у вадзе, чым у паветры, гранітную пліту аб'ёмам $V = 12 \text{ дм}^3$? (Архімедаву сілу, утвараемую паветрам, можна не ўлічваць.)

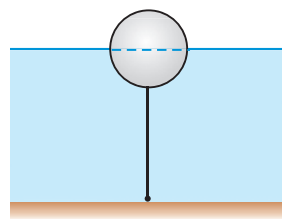
6. Дынамометр з вісячым целам у паветры паказвае $F_1 = 2,0 \text{ Н}$, а ў вадзе пры поўным пагружэнні цела — $F_2 = 1,6 \text{ Н}$. Вызначце аб'ём цела і шчыльнасць рэчыва цела.

7. На шар аб'ёмам $V = 6,0 \text{ дм}^3$, што напоўнены геліем, дзейнічае ў паветры выштурхваючая сіла $F = 72 \text{ мН}$. Вызначце шчыльнасць паветра.

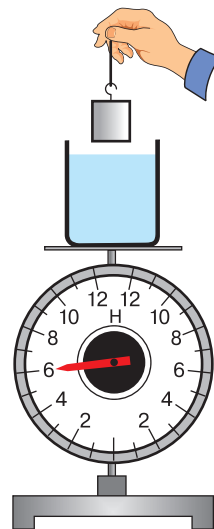
8. Пенапластавы буй аб'ёмам $V = 4 \text{ дм}^3$ утрымліваецца лёскай так, што роўна палова яго пагружана ў вадку (мал. 214). Якія сілы дзейнічаюць на буй? Вызначце значэнне кожнай з іх. Шчыльнасць пенапласта $\rho = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



9. Пасудзіна з вадой усталявана на століку дынамометра (мал. 215), які паказвае сілу $F = 6,0 \text{ Н}$. Якімі стануць паказанні дынамомет-



Мал. 214



Мал. 215

ра, калі алюмініевы груз аб'ёмам $V = 4,0 \text{ см}^3$ апусціць у ваду спачатку так, каб ён не датыкаўся дна, а затым так, каб ён лёг на дно пасудзіны пры адпушчанай нітцы.

10. Вызначце шчыльнасць рэчыва цела, часткова пагружанага ў ваду, калі пад вадой знаходзіцца адна трэць яго аб'ёму.



11. Пры поўным пагружэнні ў ваду алюмініевай дэталі масай $m = 405 \text{ г}$ з паветранай поласцю ўнутры дзейнічае выштурхваючая сіла $F = 2,0 \text{ Н}$. Вызначце аб'ём поласці.

§ 38. Плаванне суднаў. Паветраплаванне

(для дадатковага чытання)

На выкарыстанні закону Архімеда заснавана плаванне суднаў і паветраплаванне. Дзеянне з боку вадкасці выштурхваючай сілы і адпаведная канструкцыя суднаў забяспечваюць вялізным суднам магчымасць утрымлівацца на вадзе, часткова апусціўшыся ў яе.

Судны (караблі, яхты), падводныя лодкі і іншыя плаваючыя сродкі канструююць так, каб іх сярэдняя шчыльнасць была меншая за шчыльнасць вады і магла змяняцца.



Мал. 216

Што такое сярэдняя шчыльнасць цела? Напрыклад, шчыльнасць пластыліну значаецца як $\rho = \frac{m}{V}$, дзе V — аб'ём аднароднага (без поласцей і прымесей) кавалка (мал. 216, а). Вылепім з гэтага кавалка пластыліну шар з паветранай поласцю ўнутры (мал. 216, б). Маса шара роўна масе кавалка пластыліну. Сярэдняя шчыльнасць шара $\langle \rho_{\text{ш}} \rangle = \frac{m}{V_{\text{ш}}}$, $V_{\text{ш}} > V$. Не складана зразумець, што сярэдняя шчыльнасць шара меншая за шчыльнасць пластыліну. Чым большы аб'ём поласці, тым сярэдняя шчыльнасць $\langle \rho_{\text{ш}} \rangle$ будзе менш.

Судны маюць шмат паветраных воданепранікальных рэзервуараў (адсекаў), таму іх сярэдняя шчыльнасць меншая за шчыльнасць вады.

У мэтах бяспекі плавання судна можа апускацца ў ваду толькі да пэўнай глыбіні, якую называюць *гранічнай асадкай* судна і адзначаюць на яго борце чырвонай лініяй — *ватэрлініяй* (ад гал. water — вада) (мал. 217).



Мал. 217

Маса вады ў пагружаным да ватэрлініі аб'ёме судна называецца водазмяшчэннем судна. Абзначым яе m_v . Славуты «Тытанік» меў водазмяшчэнне $m_v = 46\,300$ т. Калі маса ненагружанага судна m , то рознасць $m_v - m = m_{гр}$ ёсць максімальная маса груза, які можна перавазіць на дадзеным судне.

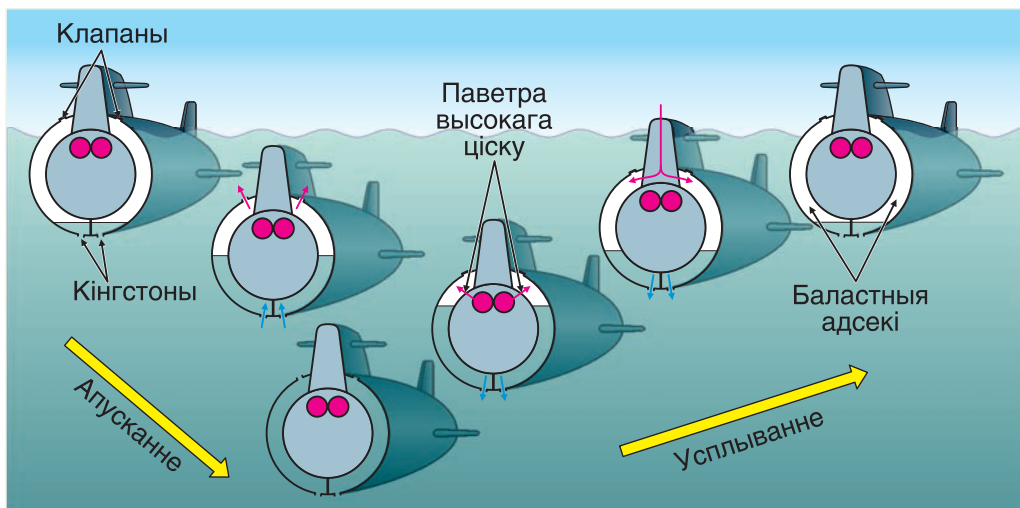
Гэтая максімальная маса груза называецца *грузападымальнасцю* судна.

Сучасныя марскія танкеры, што перавозяць нафту, маюць грузападымальнасць 500 000 т і больш.

Асобы від марскога судна ўяўляе сабой падводная лодка (мал. 218). Яна ўстроена так, што вельмі хутка можна павялічыць яе сярэднюю шчыльнасць $\langle \rho \rangle$ і тым самым апусціць да дна або паменшыць $\langle \rho \rangle$, значыць, падняць лодку да паверхні вады. Пры роўнасці $\langle \rho \rangle = \rho_v$ яна будзе плысці пад паверхняй вады. Паколькі аб'ём лодкі застаецца ва ўсіх выпадках пастаянным, а значыць, пастаянная і выштурхваючая сіла, то пры маневрух лодкі пад вадой трэба мяняць масу лодкі. Для гэтых мэтаў у корпусе лодкі ёсць шэраг баластных адсекаў



Мал. 218



Мал. 219

(мал. 219), якія або запаўняюцца вадой, пры гэтым маса лодкі павялічваецца і лодка пагружаецца, або вада з адсекаў выштурхваецца сціснутым паветрам і лодка ўспывае.

А на якіх законах заснавана паветраплаванне? На тых жа, што і плаванне суднаў: законе Архімеда і законе Паскаля. Вы ўжо ведаеце, што яны агульныя для вадкасцей і газаў.



Мал. 220

Першы паветраны шар (мал. 220) быў вынайджаны больш за 200 гадоў назад братамі Мангальф'е. Унізе шара была адтуліна, пад ёй вісела жароўня з гарачым вуголлем. Паветра ў шары награвалася, расшыралася, і частка яе выходзіла з шара. Сіла цяжару, што дзейнічае на шар, памяншалася. Выштурхваючая сіла становілася большай за сілу цяжару, і шар падываўся ўверх.

А цяпер падумаем над наступным пытаннем. Якім іншым спосабам можна зрабіць шар лягчэй? Калі шар напоўніць лёгкім газам, напрыклад геліем, то сярэдняя шчыль-

насць шара будзе меншая за шчыльнасць паветра, а выштурхваючая сіла будзе большая за сілу цяжару, і шар будзе падывацца.

Рознасць паміж сілай Архімеда і сілай цяжару газу, што запаўняе шар, вызначае максімальны груз, які можа падываць шар. Гэту велічыню называюць пад'ёмнай сілай.



Мал. 221

У вас можа ўзнікнуць пытанне: а чаму лятальныя шары не запаўняюць вадародам як самым лёгкім газам (у 14 разоў лягчэй за паветра)? Вадарод — гаручы газ, ён утварае з паветрам выбухаванебяспечную сумесь, і яго выкарыстанне ў шарах небяспечнае. Паветраныя шары, якія падываюцца на невялікую вышыню, называюцца *аэрастатамі*, на вялікую вышыню (больш за 11 км) — *стратастатамі*. Паветраныя апараты, забяспечаныя рухавікамі і паветранымі вінтамі, г. зн. кіруемыя, называюцца *дырыжаблямі* (мал. 221).

Лятальныя апараты, якія выкарыстоўваюць сілу Архімеда, знаходзяць практычнае прымяненне: яны зандзіруюць атмасферу, г. зн. з дапамогай устаноўленых на іх датчыкаў даюць інфармацыю для метэаслужбаў пра тэмпературу, ціск і г. д. З іх дапамогай вывучаюць уплыў касмічнай радыяцыі на жывыя арганізмы ў ніжніх слаях атмасферы. Дырыжаблі мелі велізарнае значэнне ў час вайны. Яны забяспечвалі цяжкадаступныя раёны прадуктамі харчавання, канваіравалі судны ў моры, ажыццяўлялі пошук падводных лодак і інш.

Веданне законаў фізікі (законаў Паскаля, Архімеда і інш.) дазволіла чалавеку асвойць паветраны і водны акіяны. Паветра і вада — самыя неабходныя складаючыя для жыцця чалавека і ўсяго жывога свету. Таму асвойваць паветраныя і водныя прасторы трэба экалагічна правільна, пастаянна думаючы аб тым, каб найменш шкоды зрабіць самаму каштоўнаму, што ёсць у свеце. Нельга мірыцца з тым, што ад нафтавых плям на воднай паверхні, ад брудных прамысловых адходаў гіне жывёльны і раслінны свет.

Давайце будзем кожны дзень памятаць аб тым, што стан вады і паветра, а значыць, і наша жыццё залежаць толькі ад нас саміх, і рабіць усё, каб гэта жыццё было доўгім.

Галоўныя вывады

1. Плаванне суднаў і паветраплаванне заснаваны на выкарыстанні закона Архімеда.
2. Маса вады ў апушчаным да ватэрлініі аб'ёме называецца водазмяшчэннем судна.
3. Рознасць паміж водазмяшчэннем і масай ненагружанага судна ёсць грузападымальнасць судна.
4. Пад'ёмная сіла паветранага шара роўна рознасці паміж сілай Архімеда, якая дзейнічае на яго, і сілай цяжару газу ў шары.

Кантрольныя пытанні

1. Што такое ватэрлінія?
2. Ці можна, параўнаўшы становішча ватэрліній двух роўных па памерах суднаў, меркаваць аб іх грузападымальнасці? Водазмяшчэнні?
3. Чаму для павелічэння вышыні пад'ёму паветранага шара з яго даводзіцца скідваць груз-баласт?
4. Пад'ёмная сіла паветранага шара $F = 2500$ Н. Што гэта значыць?

Прыклад рашэння задачы

Вызначце максімальную масу чалавека, які можа знаходзіцца на плоскай льдзіне таўшчынёй $h = 40$ см і плошчай паверхні асновы $S = 2,0$ м². Каэфіцыент g прыміце роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

Дадзена:

$$S = 2,0 \text{ м}^2$$

$$h = 40 \text{ см} = 0,40 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{л}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

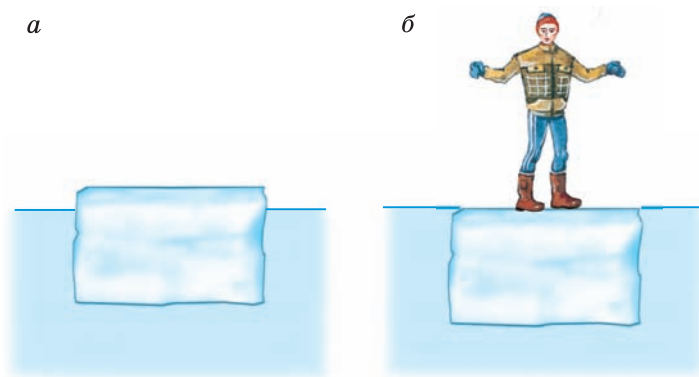
$$m_{\text{max}} \text{ — ?}$$

Рашэнне

Пры максімальнай масе чалавека льдзіна поўнасю апусціцца ў ваду (мал. 222, а, б). Сіла Архімеда прыме максімальнае значэнне: $F_{\text{max}} = g\rho_{\text{в}}V$, дзе V — аб'ём льдзіны. Ён роўны:

$$V = Sh = 2,0 \text{ м}^2 \cdot 0,40 \text{ м} = 0,80 \text{ м}^3.$$

Значэнне максімальнай выштурхваючай сілы будзе роўна:



Мал. 222

$$F_{\max} = g\rho_{\text{в}}V = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,80 \text{ м}^3 = 8000 \text{ Н}.$$

Гэта сіла павінна кампенсаваць выніковую дзвюх сіл — сіл цяжару, што дзейнічаюць на льдзіну F_1 і на чалавека F_2 .

$F_1 = gm_{\text{л}}$, дзе $m_{\text{л}}$ — маса льдзіны, яна роўна $m_{\text{л}} = \rho_{\text{л}}V$.

$$F_1 = g\rho_{\text{л}}V = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,80 \text{ м}^3 = 7200 \text{ Н}.$$

Значыць, сіла цяжару, што дзейнічае на чалавека:

$$F_2 = F_{\max} - F_1 = 8000 \text{ Н} - 7200 \text{ Н} = 800 \text{ Н}.$$

Тады максімальная маса чалавека:

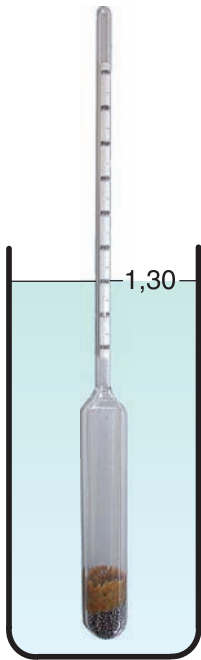
$$m_{\max} = \frac{F_2}{g} = \frac{800 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 80 \text{ кг}.$$

Адказ: $m_{\max} = 80 \text{ кг}$.

Практыкаванне 23

1. Аб'ём пагружанай да ватэрлініі часткі катэра $V = 15 \text{ м}^3$. Вызначце водазмяшчэнне катэра.

2. Вызначце аб'ём падводнай часткі рачнога карабля водазмяшчэннем $m_{\text{в}} = 200 \text{ т}$. Як зменіцца гэты аб'ём пры пераходзе карабля ў марскую ваду?



Мал. 223

3. Пасля пасадкі рыбака ў лодку з вертыкальнымі бартамі і плошчай дна $S = 4,0 \text{ м}^2$ лодка апусцілася ў ваду дадаткова на $h = 20 \text{ мм}$. Вызначце масу рыбака. Каэфіцыент g тут і ў наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. На малюнку 223 адлюстраваны вядомы кожнаму вадзіцелю прыбор для вымярэння шчыльнасці кіслаты ў акумулятарнай батарэі (ареометр). Дзе (вышэй або ніжэй паказанага) размешчаны дзяленні, што адпавядаюць шчыльнасці кіслаты больш за $1,30 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$?

5. Аб'ём паветранага шарыка, запоўненага вадародам, $V = 4,00 \text{ дм}^3$, а вага вадароду $P = 0,040 \text{ Н}$. Вызначце пад'ёмную сілу шарыка.

6. Вызначце выштурхваючую сілу, што дзейнічае на шар-зонд аб'ёмам $V = 8 \text{ м}^3$, запоўнены вадародам. Маса абалонкі шара $m = 0,8 \text{ кг}$. Які груз можа падняць гэты шар? Ці здольны ён падывацца на неабмежаваную вышыню?

7. Параўнайце архімедаву і пад'ёмную сілы, што дзейнічаюць на апісаны ў папярэдняй задачы шар і такі ж шар, але запоўнены геліем.

8. Як са стану нерухомага «завісання» ў вадзе пераходзіць на ўсплыванне падводная лодка? Як робіць гэта рыба (без удзелу плаўнікоў)?



9. Дакажыце, што падводная частка айсберга складае 90 % яго аб'ёму.



10. Ці зменіцца глыбіня апускання лодкі пасля апускання ў ваду якара? Разгледзьце выпадкі: а) якар ляжыць на дне; б) якар не ляжыць на дне.



11. Чаму мыльны пузыр спачатку падываецца ўверх, але хутка спыняецца і пачынае апускацца?



4

Лабараторны эксперымент

«Адзін дослед я стаўлю вышэй за тысячу меркаванняў, народжаных толькі ўяўленнем».

М. В. Ламаносаў



Лабораторная работа 1. *Вивучэнне нераўнамернага руху*

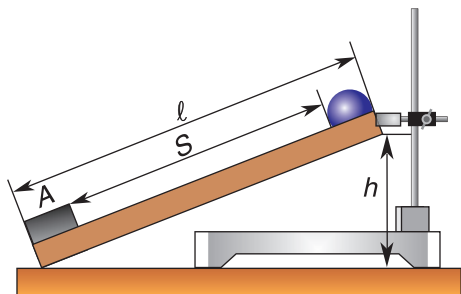
Мэта: навучыцца вызначаць сярэднюю скорасць нераўнамернага руху.

Абсталяванне: лабараторны штатыў, металічны жолаб, шарык, мерная стужка, цыліндрычны ўпор, метраном (або секундамер).

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні

1) Вымерайце даўжыню l жолаба. Замацуйце жолаб у штатыве (мал. 224), падабраўшы ўхіл прыкладна $1 : 20$ (ухілам называюць адносіну вышыні пад'ёму h да даўжыні l). У ніжняй частцы жолаба размясціце ўпор А.



Мал. 224

2) Апусціце шарык з верхняга пункта жолаба дакладна ў момант, які супадае з адным з удараў метранома, і, вымаўляючы адначасова слова «нуль», пачніце адлік удараў метранома да моманту саўдару шарыка з упорам.

3) Ведаючы, што ўдары метранома адбываюцца кожныя $0,5$ с, вызначце прыблізна прамежак часу руху шарыка да ўпора.

4) Вымерайце мернай стужкай пройдзены шлях s і знайдзіце сярэднюю скорасць руху $\langle v_1 \rangle$ шарыка.

5) Змяніце ў 2 разы ўхіл і аналагічна знайдзіце сярэднюю скорасць руху $\langle v_2 \rangle$ шарыка.

II. Кантрольнае пытанне

Параўнайце атрыманыя ў пунктах 4) і 5) значэнні сярэдняй скорасці і зрабіце вывад аб уплыве ўхілу на сярэднюю скорасць. Ці можна сцвярджаць, што павелічэнне ўхілу ўдвая прыводзіць да павелічэння сярэдняй скорасці руху ў 2 разы?

III. Суперзадание

Вымерайце сярэдняю скорасць руху шарыка, што вагаецца на нітцы. Рэкамендацыі: выкарыстайце нітку даўжынёй 30—40 см, вугал адхілення 20—30° (вугал вымяраецца транспарцірам).

Лабараторная работа 2. Градуіроўка пружыны дынамометра

Мэта: навучыцца градуіраваць пружыну і карыстацца ёю ў якасці дынамометра.

Абсталяванне: пружына на панелі, набор грузаў масай па 100 г, штатыў, нітка, ліст паперы.

Ход работы

1. Прыборныя вымярэнні

1) Замацуйце на штатыве (мал. 225, а) у строга вертыкальным становішчы панель, закрытую лістом паперы, са пружынай.

2) Адзначце на панелі становішча паказальніка пры ненагружанай пружыне — нуль шкалы.

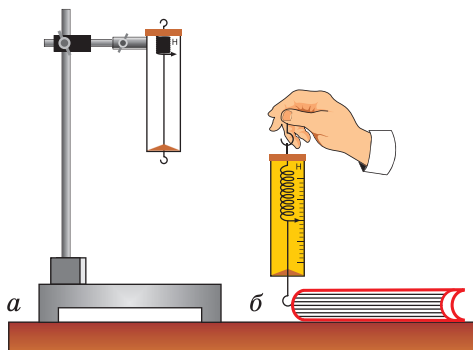
3) Па чарзе падвешваючы да кручка пружыны 1, 2, 3, 4 грузы масай па 100 г, адзначайце кожны раз становішча паказальніка. Вага аднаго грузу:

$$P = F_{\text{ц}} = gm = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,10 \text{ кг} = 0,98 \text{ Н} \approx 1 \text{ Н},$$

што дазваляе нанесці на шкалу чатыры адзнакі: 1 Н, 2 Н, 3 Н, 4 Н.

4) Раздзяліце папалам кожнае з атрыманых дзяленняў, знайдзіце і запішыце ў справаздачу цану дзялення і дакладнасць адліку атрыманай шкалы.

5) Прымяніце зроблены дынамометр для вымярэння розных сіл: вагі падручніка фізікі і сілы, неабходнай для адрыву аднаго краю гэтага падручніка ад стала (мал. 225, б).



Мал. 225

II. Кантрольныя пытанні

1) Якія сілы дзейнічаюць на груз, што вісіць на sprужыне? Чаму роўна раўнадзейная гэтых сіл?

2) Якая матэматычная залежнасць паміж падаўжэннем sprужыны і прыкладзенай сілай?

III. Суперзаданне

Якой будзе шкала зробленага вамі дынамометра, калі выкарыстаць палову дадзенай sprужыны? Нанясіце такую шкалу на панель побач з атрыманай раней.

Ліст са шкаламі здыміце з панелі і, напісаўшы на ім сваё прозвішча, укладзіце ў лабараторны сшытак.

Лабараторная работа 3. Вывучэнне сілы трэння

Мэта: доследным шляхам навучыцца вымераць сілу трэння слізгання; высветліць, якія фактары ўплываюць на яе значэнне, і параўнаць сілы трэння слізгання і качэння.

Абсталяванне: драўляная дошка, палоска пластыку (можна выкарыстаць пластыкавую сталёную), драўляны брусок з адтулінай, набор грузаў, дзве цыліндрычныя палачкі (можна выкарыстаць алоўкі), дынамометр.

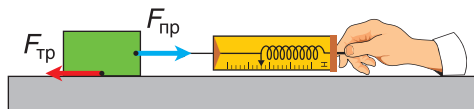
Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні

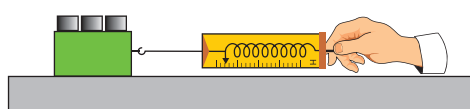
1) Вымайце з дапамогай дынамометра вагу драўлянага бруска з адтулінай.

2) Перамяшчаючы з дапамогай дынамометра (мал. 226, а) раўнамерна брусок па гарызантальнай драўлянай дошцы, вымайце сілу пругкасці $F_{\text{пр}}$ sprужыны дынамометра, якая лікава роўна сіле

а



б



Мал. 226

трэння. Вымярэнні паўтарыце не менш як тры разы, знайдзіце сярэдняе значэнне гэтай сілы.

3) Паўтарыце вымярэнні, рухаючы брусок са змешчанымі на ім грузамі (мал. 226, б) масай па 100 г (па чарзе з адным, двума і трыма грузамі). Зрабіце вывад аб прычынах змянення сілы трэння.

4) Карыстаючыся бруском з трыма грузамі, вымерайце сілу трэння слізгання бруска па пластмасавай пласцінцы. Параўнайце яе значэнне з сілай трэння пры руху па драўлянай дошцы. Зрабіце вывады.

5) Захоўваючы тры грузы на бруску, змясціце пад яго дзве акруглыя палачкі і вымерайце сілу трэння качэння. Параўнайце сілы трэння слізгання і качэння і зрабіце вывады.

II. Кантрольныя пытанні

- 1) Якая прычына ўзнікнення сілы трэння?
- 2) Чаму ва ўсіх вымярэннях неабходна перамяшчаць брусок раўнамерна?

III. Суперзаданне

Пабудуйце графік залежнасці сілы трэння слізгання ад сілы ціску (вагі) бруска. Які вывад можна зрабіць з атрыманага графіка?

Лабараторная работа 4. *Праверка ўмовы раўнавагі рычага*

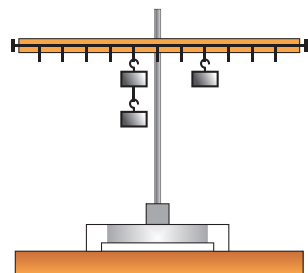
Мэта: доследным шляхам праверыць умову раўнавагі рычага.

Абсталяванне: рычаг здымны з восью, штатыў, набор грузаў масай 100 г кожны.

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні

1) Устанавіце на вышыні 30—40 см рычаг-лінейку з пяцелькамі і кручкамі (мал. 227) з дроту. З дапамогай рэгуляровачных шрубаў размясціце рычаг гарызантальна.



Мал. 227

2) Падвесьце на адзін з кручкоў два, а на другі — адзін груз (гл. мал. 227). Перасоўваючы пяцелькі, дабіцеся гарызантальнага становішча рычага.

3) Вымерайце плячо l_1 левай сілы F_1 (вагі двух грузаў) і плячо l_2 правай сілы F_2 (вагі аднаго груза), вылічыце адносіну l_2 да l_1 , параўнайце яе з адносінай сіл F_1 да F_2 .

4) Вызначце моманты сіл і параўнайце іх паміж сабой.

5) Прытрымліваючы рычаг рукой, перасуньце пяцельку з адным грузам управа прыкладна на 8—10 см. Рычаг выйдзе з раўнавагі. Перасоўваючы пяцельку з двума грузамі, дабіцеся гарызантальнага становішча рычага.

6) Вымерайце плечы l'_1 левай і l'_2 правай сілы. Вылічыце адносіну плеч l'_2 да l'_1 і параўнайце з адносінай сіл F_1 да F_2 .

7) Вызначце моманты сіл.

8) Зрабіце вывады аб умове раўнавагі рычага.

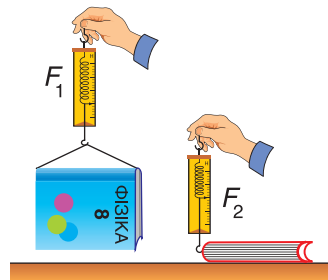
II. Кантрольныя пытанні

1) Ці застанецца рычаг у раўнавазе, калі да грузаў прымацаваць аднолькавыя кавалкі пластыліну?

2) Ці мае значэнне ў дадзенай рабоце сіла цяжару рычага? Чаму?

III. Суперзаданне

Параўнайце сілу F_1 , неабходную для пад'ёму падручніка фізікі, з сілай F_2 , неабходнай для адрыву ад стала аднаго краю гэтага падручніка (мал. 228). Дайце фізічнае тлумачэнне адрознення гэтых сіл.



Мал. 228

Лабараторная работа 5. Вывучэнне нерухомага і рухомага блокаў

Мэта: доследным шляхам праверыць умову раўнавагі блока і вызначыць выйгрыш у сіле пры выкарыстанні блока.

Абсталяванне: штатыў, рухомы і нерухомы блокі, набор грузаў масай па 100 г, дынамометр, лінейка, нітка даўжынёй 80—100 см.

Ход работы

І. Приборныя вымярэнні

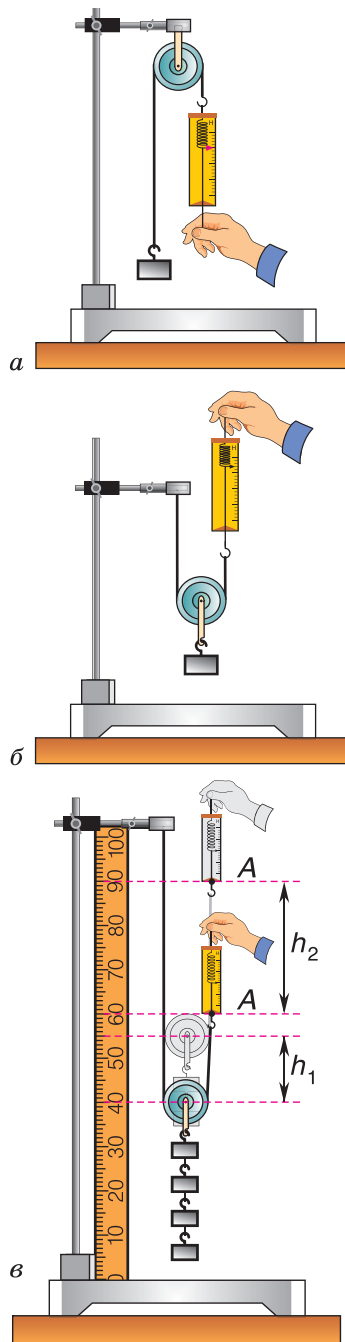
1) Замацуйце блок у лапцы штатыва. Нітку з петлямі на канцах перакіньце цераз блок. Прычапіўшы да левай пятлі груз, а да правай — кручок дынамометра і ўтрымліваючы груз у раўнавазе (мал. 229, а), здыміце паказанні дынамометра.

2) Паўтарыце дослед з двума і чатырма грузамі і, зняўшы паказанні дынамометра, зрабіце вывад аб выйгрышы ў сіле пры выкарыстанні нерухомага блока.

3) Левую пятлю ніткі зачапіце за лапку штатыва, а правую — надзеньце на кручок дынамометра. Рухомы блок з грузам змясціце на нітку, як паказана на малюнку 229, б. Утрымліваючы груз у раўнавазе, здыміце паказанні дынамометра.

4) Паўтарыце дослед з двума і чатырма грузамі. Параўнайце паказанні дынамометра з вагой грузаў. Зрабіце вывад аб суадносіне сіл, што дзейнічаюць на блок.

5) Замацуйце ў штатыве лінейку даўжынёй 80—100 см. Падыміце чатыры грузы з дапамогай рухомага блока на вышыню h_1 (10—15 см) (мал. 229, в). Вымерайце вышыню h_2 , на якую падняўся пункт А, у якім прымацаваны кручок дынамометра да ніткі. Параўнайце h_1 і h_2 і зрабіце вывад.



Мал. 229

6) Вылічыце і параўнайце работу сілы цяжару грузаў і сілы пругкасці спружыны дынамометра. Зрабіце вывад.

II. Кантрольныя пытанні

- 1) Чым адрозніваюцца рухомы і нерухомы блокі?
- 2) Як змяніліся б вынікі доследаў 1), 2), 3), 4), калі б блокі мелі большую масу (былі выраблены з металу)?
- 3) У чым сэнс «Залатога правіла механікі»?

III. Суперзаданне

Ці будзе аднолькавы ККДз рухомага блока пры пад'ёме 1, 2, 3, 4 і г. д. грузаў? Адказ абгрунтуйце.

Лабараторная работа 6. Вывучэнне нахіленай плоскасці і вымярэнне яе ККДз

Мэта: пазнаёміцца з простым механізмам — нахіленай плоскасцю і вымераць яе ККДз.

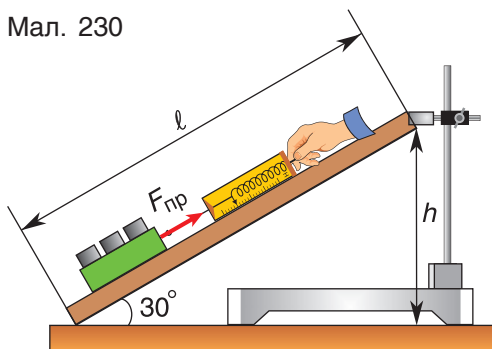
Абсталяванне: дошка даўжынёй 40—80 см, набор грузаў масай па 100 г кожны, штатыў з лапкай, дынамометр, лінейка, школьны трохвугольнік.

Ход работы

I. Прыборныя вымярэнні

- 1) Устаноўце дошку так, каб яна ўтварыла з паверхняй стала вугал 30° (мал. 230).

Мал. 230



- 2) Узважце дадзены брусок з дапамогай дынамометра.

- 3) Паклаўшы на брусок тры грузы масай па 100 г кожны, перасоўвайце яго з дапамогай дынамометра раўнамерна ўверх па нахіленай плоскасці. Запішыце паказанні дынамометра (сілу пругкасці спружыны).

4) Параўнайце значэнне сілы пругкасці з вагой бруска з грузамі і зрабіце вывад.

5) Вымерайце даўжыню l нахіленай плоскасці і вылічыце работу, выкананую сілай пругкасці спружыны па формуле $A_{\text{вык}} = F_{\text{пр}} l$.

6) Вылічыце карысную работу (роўную павелічэнню патэнцыяльнай энергіі) пры пад'ёме бруска з грузамі на вышыню h па формуле $A_{\text{кар}} = gmh$, дзе gm — сіла цяжару, што дзейнічае на брусок з грузамі.

7) Па формуле $\eta = \frac{A_{\text{кар}}}{A_{\text{вык}}} \cdot 100 \%$ знайдзіце ККДз нахіленай плоскасці.

8) Паўтарыце ўсе выкананыя вымярэнні з нахіленай плоскасцю з вуглом нахілу 60° . Вугал устанавіце з дапамогай школьнага трохвугольніка.

II. Кантрольныя пытанні

1) Якое прызначэнне нахіленай плоскасці як простага механізма?

2) Чаму аказаліся няроўнымі карысная і выкананая работа?

3) Як пры дадзеным вугле нахілу можна павысіць ККДз нахіленай плоскасці?

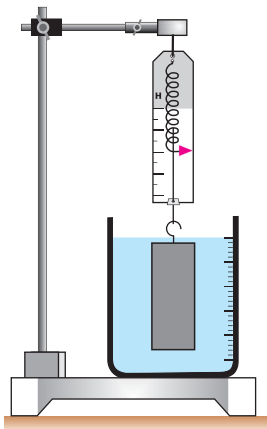
III. Суперзаданне

Выкарыстаўшы атрыманыя вынікі, растлумачце прычыны змянення ККДз нахіленай плоскасці пры павелічэнні яе вугла нахілу. Які ККДз плоскасці пры гранічных вуглах нахілу 90° і 0° ?

Лабораторная работа 7. *Вывучэнне выштурхваючай сілы*

Мэта: доследным шляхам праверыць формулу для вызначэння выштурхваючай сілы.

Абсталяванне: колба з вадой, мензурка, дынамометр, два целы роўных аб'ёмаў з розных металаў, нітка.



Мал. 231

Ход работы

I. Приборныя вымярэнні

1) Вызначце вагу аднаго з металічных цыліндраў з дапамогай дынамометра.

2) Выкарыстоўваючы нітку, павольна апускайце цыліндр у колбу з вадой і сачыце за паказаннямі дынамометра (мал. 231). Запішыце паказанне дынамометра пры поўным пагружэнні цела ў ваду.

3) Вылічыце рознасць паказанняў дынамометра, атрыманых у пунктах 1) і 2). Яна роўна значэнню выштурхваючай сілы.

4) Паўтарыце ўсе вымярэнні — пункты 1), 2), 3) — для другога металічнага цыліндра. Зрабіце вывад аб уплыве шчыльнасці рэчыва апушчанага цела і яго аб'ёму на значэнне выштурхваючай сілы.

5) З дапамогай мензуркі вызначце аб'ём аднаго з металічных цыліндраў. Вылічыце масу і вагу вады ў аб'ёме, роўным аб'ёму цыліндра.

6) Параўнайце значэнне выштурхваючай сілы, вызначанай у пункце 3), з вагою вады, вылічанай у пункце 5), і зрабіце вывад.

II. Кантрольныя пытанні

- 1) Якая прычына выштурхвання цела вадкасцю (газам)?
- 2) Ці змянілася вага цела пры апусканні яго ў ваду?

III. Суперзаданне

Як з дапамогай толькі адной мензуркі вызначыць шчыльнасць драўніны прапанаванага невялікага цела?

Асноўныя адзінкі СІ і іх эталоны

Асноўнай адзінкай даўжыні ў СІ з'яўляецца 1 метр. За 1 метр даўжыні згодна з прапановай французскіх вучоных была прынята

$\frac{1}{100000000} = 1 \cdot 10^{-7}$ частка адлегласці ад экватара да Паўночнага по-

люса (па парыжскаму мерыдыяну). Гэта рашэнне было прадыктавана жаданнем мець у якасці адзінкі даўжыні лёгка ўзнаўляемую адзінку, звязаную з нязменным аб'ектам прыроды (даўжынёй мерыдыяна). Эталон метра (мал. 232), які ўяўляе сабою плацінавую лінейку шырынёй 25 мм і таўшчынёй каля 4 мм з адлегласцю паміж канцамі, роўнай прынятай адзінцы даўжыні, быў выраблены французскім майстрам Ленуарам. Па дадзенаму эталону метра была зроблена 31 копія са сплаву плаціны і ірыдыю. Эталон метра і дзве яго копіі захоўваюцца ў г. Сеўры (Францыя) у Міжнародным бюро мер і вагаў. У Расіі ў Інстытуце Дз. І. Мендзялеева ў Санкт-Пецярбургу захоўваюцца дзве копіі (№ 11 і № 28) міжнароднага эталона метра. З дапамогай гэтых копій забяспечваецца адзінства і адпаведная дакладнасць вымярэнняў у навуцы і тэхніцы.

Аднак такі эталон метра недастаткова надзейны. З цягам часу ён «старэе», змяняецца яго ўнутраная будова, а значыць, і даўжыня. У якасці адзінкі даўжыні неабходна было б мець якую-небудзь натуральную, дакладна ўзнаўляемую даўжыню, якая не «старэе». У 1983 г. Генеральная асамблея мер і вагаў прыняла новае азначэнне метра: метр ёсць даўжыня шляху, які праходзіць святло ў

вакууме за $\frac{1}{299792458}$ секунды.



Мал. 232



Мал. 233

Асноўнай адзінкай масы ў СІ прыняты 1 кілаграм. Спачатку (у XVIII ст.) 1 кг атрымаў азначэнне як маса 1 дм³ вады пры тэмпературы 4 °С, пры якой шчыльнасць вады найвялікшая. Аднак у 1779 г. быў выраблены эталон 1 кг — цыліндрычная гіра з плаціны як найбольш устойлівага да знешніх уздзеянняў рэчыва. Яго маса аказалася на 28 мг большая за масу 1 дм³ вады. У 1889 г. было прынята азначэнне 1 кг як масы гіры цыліндрычнай формы (мал. 233) з пла-

ціна-ірыдыевага сплаву, вышыня і дыяметр якой роўны 39 мм. Гэты эталон кілаграма захоўваецца там жа, дзе і эталон метра. Па ім выраблены 40 копій, дзве з якіх (№ 12 і № 26) былі перададзены Расіі.

Асноўнай адзінкай часу ў СІ з'яўляецца 1 секунда. Што такое секунда і чаму менавіта яна выбрана ў якасці адзінкі для вымярэння часу? Магчыма, менавіта таму, што яна блізкая да прамежку часу паміж двума ўдарамі сэрца чалавека. Аднак гэта не так істотна. Важна, каб гэта адзінка была дакладна вызначана і лёгка ўзнаўлялася. З 1956 г. эталонам секунды служыў прамежак часу,

роўны $\frac{1}{86400}$ працягласці сярэдніх сонечных сутак. Аднак стан Зямлі пастаянна змяняецца: адбываюцца землетрасенні, вывяржэнні вулканаў, раставанне льдоў і інш., у выніку чаго скорасць вярчэння Зямлі не з'яўляецца пастаяннай, а значыць, і суткі маюць розную працягласць. З гэтага вынікае, што дакладнасць ўзнаўлення секунды будзе невысокая. Таму вучоныя шукалі такі гадзіннік, які б не залежаў ад зямных змяненняў. Найлепшая ўзнаўляемасць секунды была дасягнута пасля вынаходства кварцавых, малекулярных і атамных гадзіннікаў.

Гэтыя гадзіннікі ўяўляюць сабой складаныя радыётэхнічныя ўстройства. Ролю маятніка ў іх выконваюць ваганні ў крышталічнай

рашотцы кварцу (у кварцавым гадзінніку), ваганні атамаў у малекулах (у малекулярным гадзінніку) і перыядычныя працэсы, што адбываюцца пры змяненні энергіі атамаў цэзію (у атамным гадзінніку).

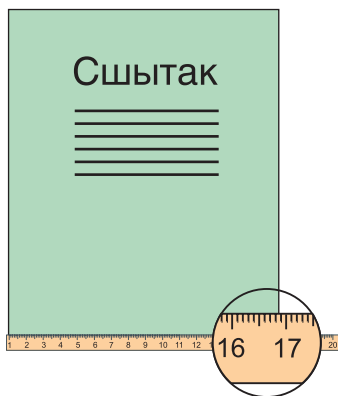
Мы разгледзелі эталоны трох асноўных адзінак СІ. З астатнімі адзінкамі вы пазнаёміцеся, вывучаючы фізіку ў старэйшых класах.

ДАДАТАК 2

Апрацоўка вынікаў прамых і ўскосных вымярэнняў

Выдатны рускі вучоны Дз. І. Мендзялееў гаварыў, што любая навука пачынаецца там, дзе пачынаюцца вымярэнні. У асаблівай ступені гэта выказванне адносіцца да фізікі. Працуючы з дадзеным падручнікам, мы неаднаразова сутыкаліся і будзем сутыкацца ў далейшым з неабходнасцю выражэння лікавага значэння розных фізічных велічынь. Адны з іх мы атрымліваем шляхам прамых вымярэнняў непасрэдна прыборам: лінейкай — памер цела, мензуркай — аб’ём, вагамі — масу, дынамометрам — сілу, манометрам — ціск, тэрмометрам — тэмпературу. Іншыя велічыні мы знаходзім шляхам ускосных вымярэнняў, г. зн. па формуле, у якую ўваходзяць вымераныя непасрэдна прыборам велічыні. Напрыклад, пры вызначэнні плошчы S сталёнай рабочага стала мы павінны перамножыць яе даўжыню a і шырыню b , вымераныя непасрэдна лінейкай, і па формуле $S = ab$ вылічыць плошчу. Ва ўсіх паказаных сітуацыях важны адказ на адно і тое ж пытанне: ці з’яўляецца вынік, што мы запісалі, **сапраўдным** значэннем разглядаемай велічыні або толькі прыбліжаным? Для адказу на гэтае пытанне разгледзім абедзве сітуацыі.

Значэнні велічынь, атрымліваемых непасрэднымі вымярэннямі. Няхай вам неабходна звычайнай лінейкай вымераць шырыню сшытка. Сумяшчаючы нулявое дзяленне лінейкі з левым краем сшытка і паклаўшы лінейку строга ўпоперак сшытка, вы «счытываеце» дзяленне, якое супала з правым краем сшытка. Паколькі край сшытка размяшчаецца дакладна паміж восьмым і дзевятым міліметровымі дзяленнямі пасля надпісу 16 см (мал. 234), вы запішаце



Мал. 234

$a = 16 \text{ см } 8,5 \text{ мм} = 168,5 \text{ мм}$. Але, прааналізаваўшы атрыманы вынік, вы хутка здагадаецеся, што запісаны лік наўрад ці з'яўляецца **сапраўдным** значэннем вымераемай велічыні. Для гэтага дастаткова яшчэ раз паглядзець на дзяленне лінейкі, якое супадае з правым краем, змяніўшы пры гэтым становішча галавы ўлева, а затым управа. Вы заўважыце (асабліва, калі таўшчыня лінейкі істотная!), што край сшытка зусім не знаходзіцца дакладна пасярэдзіне паміж

восьмым і дзевятым дзяленнямі. Аналагічна гэтаму вадзіцель аўтамабіля і пасажыр, які сядзіць побач з ім, будуць бачыць розныя паказанні спідометра, адлюстраванага на малюнку 16. А дзе гарантыя таго, што вы паклалі лінейку строга **ўпоперак** сшытка, г. зн. перпендыкулярна да яго бакавых краёў? А ці з'яўляецца сшытак **абсалютна** прамавугольным? Гэта значыць, даведацца аб сапраўдным значэнні вымяраемай велічыні нам перашкаджае, па-першае, **хібнасць вымярэнняў**.

Але і гэта не ўсё! Ці ёсць у вас поўная ўпэўненасць у тым, што адлегласць паміж суседнімі дзяленнямі вашай лінейкі (яна вырабляецца масавым штампаваннем з таных матэрыялаў) абсалютна дакладна адпавядае $\frac{1}{1000}$ даўжыні эталоннага метра, з якім вы толькі што пазнаёміліся? Ці ўпэўнены вы ў тым, што верхні край лінейкі строга прамалінейны? Такім чынам, даведацца аб **сапраўдным** значэнні вымяраемай велічыні вам перашкаджаюць, па-другое, **хібнасці прыбораў**. Успомніце, напрыклад, што ў школьным лабараторным наборы гіраў няма гіраў, меншых за 10 мг, — яны практычна бескарысныя, паколькі з-за трэння лабараторныя вагі на такое малое змяненне масы проста не рэагуюць.

Прааналізаваўшы ўсё сказанае вышэй, вы зразумеете, што **ніякае** вымярэнне (у **любой** лабараторыі **любымі**, якімі заўгодна дара-

гімі і складанымі прыборамі) не дазваляе даведацца аб сапраўдным значэнні вымяраемай велічыні. Значыць, вынікі ўсякіх прыборных вымярэнняў з'яўляюцца **прыбліжанымі**. Рэальна пры любых вымярэннях мы павінны рашаць дзве галоўныя задачы:

а) карыстацца такімі прыборамі і такімі метадамі вымярэнняў, якія дазвалялі б максімальна **знізіць хібнасць выніку**, г. зн. яго магчымае адхіленне ад сапраўднага значэння вымяраемай велічыні;

б) **знаць, якая гэта хібнасць**, г. зн. на колькі атрыманы вамі вынік можа адрознівацца ад сапраўднага значэння.

У апісаным прыкладзе з вымярэннем шырыні сшытка мае сэнс запісаць атрыманы вынік як $a = 168,5 \pm 0,5$ мм, маючы на ўвазе, што ў дадзеным вымярэнні мы можам памыліцца як у бок завышэння, так і ў бок заніжэння выніку на палову цаны дзялення шкалы прыбора — міліметровай лінейкі. Зроблены намі запіс гаворыць, што сапраўднае значэнне шырыні сшытка складае не менш за 168 мм (ніжняя мяжа) і не больш за 169 мм (верхняя мяжа).

Значэнні велічынь, атрымліваемых пры ўскосных вымярэннях (з дапамогай формул). Вызначым цяпер плошчу вокладкі сшытка. Для гэтага вымераем той самай лінейкай даўжыню сшытка і запішам вынік: $b = 203,0 \pm 0,5$ мм. Тут нуль, які стаіць пасля лічбы 3, падкрэслівае, што вымярэнне зроблена з дакладнасцю да паловы цаны дзялення. Цяпер перамножым з дапамогай калькулятара шырыню і даўжыню: $S = ab = 34205,5$ мм² і зноў жа з дапамогай калькулятара вылічым найбольшае ($S_{\text{макс}}$) і найменшае ($S_{\text{мін}}$) магчымыя значэнні гэтай плошчы:

$$S_{\text{макс}} = 34391,5 \text{ мм}^2 \text{ і } S_{\text{мін}} = 34020,0 \text{ мм}^2.$$

А цяпер запішам у слупок усе тры значэнні плошчы і знойдзем лічбы, якія аднолькавыя ва ўсіх трох значэннях:

$$S = \underline{34205},5 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{мін}} = \underline{34020},0 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{макс}} = \underline{34391},5 \text{ мм}^2.$$

Як бачна, супадаюць дзве першыя лічбы (яны падкрэслены). Няма сумнення, што сапраўднае значэнне плошчы вокладкі выражаецца лікам, які пачынаецца з гэтых лічбаў (34), — будзем называць іх **правільнымі** лічбамі. А вось трэцяя лічба (2) выклікае ўжо **сумненне**, паколькі сапраўднае значэнне плошчы можа змяшчаць у гэтым разрадзе лічбу як меншую — 0, так і большую — 3. А якая ж дакладнасць чацвёртай, пятай і шостаў лічбаў выніку? Вы здагадваецеся, што гэтыя лічбы не толькі выклікаюць сумненне, але яны напэўна выпадковыя, прасцей кажучы, — яны **няправільныя!** Таму запісваць гэтыя лічбы ў канчатковым адказе не разумна, іх трэба проста адкінуць, г. зн. акругліць лік, запісаўшы ў выніку ўсе правільныя лічбы і лічбу, што выклікае сумненне: $S = 34\,200\text{ мм}^2$, або $S = 342\text{ см}^2$, або $S = 3,42\text{ дм}^2$.

Звярніце ўвагу на важную дэталю: у адказе мы пакінулі толькі тры лічбы, але менавіта па тры «правільных» лічбы было ў перамянаемых велічынях 168,5 і 203,0! Кажучы па-іншаму, абедзве перамянаемыя велічыні былі вядомыя з **аднолькавай дакладнасцю**. А калі яны вымераны з рознай дакладнасцю?

Разгледзім другі прыклад. Выконваючы лабараторную работу, вы вымералі на вагах масу металічнага цыліндра, якая была роўна $m = 158\text{ г } 420\text{ мг}$. Паколькі выкарыстоўваемыя вагі ледзь рэагавалі на гіру ў 10 мг, то вынік лагічна запісаць у выглядзе: $m = 158\text{ г } 420\text{ мг} \pm 10\text{ мг}$, або больш рацыянальна: $m = 158,42 \pm 0,01\text{ г}$. У запісаным ліку правільнымі з'яўляюцца чатыры першыя лічбы, а апошняя (2) — выклікае сумненне. Вымераўшы аб'ём V цыліндра з дапамогай мензуркі з цаной дзялення 1 мл, вы атрымалі $21\text{ мл} = 21\text{ см}^3$. З улікам магчымай памылкі, роўнай палавіне цаны дзялення, мы можам вынік гэтага вымярэння запісаць: $V = 21,0 \pm 0,5\text{ см}^3$, але тут мы бачым толькі адну правільную лічбу (першую — 2), другая (1) ужо выклікае сумненне.

Вылічваючы на звычайным калькулятары шчыльнасць, вы знойдзеце:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{158,42\text{ г}}{21\text{ см}^3} = 7,5914285\frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Але вы ўжо разумеете, што пісаць у адказе ўсе восем лічбаў не толькі не разумна, але нават смешна. Бо, зрабіўшы такі запіс, вы прэтэндуеце на фантастычную дакладнасць у вызначэнні шчыльнасці рэчыва! Паглядзім, ці з аднолькавай дакладнасцю былі вымераны абедзве велічыні. Зразумела ж, не! Вызначыўшы даволі дакладна масу цела (пяць лічбаў: чатыры правільных і адна, што выклікае сумненне), вы са значна меншай дакладнасцю вымералі аб'ём гэтага цела (усяго дзве лічбы). Колькі ж лічбаў пакідаць у адказе? Каб гэта высвятліць, зноў запішам у слупок знойдзенае значэнне шчыльнасці, якое з найбольшай верагоднасцю паказвае сапраўднае значэнне вымяраемай велічыні, а таксама магчымыя найбольшае і найменшае значэнні гэтай велічыні па выніках праведзенага доследу:

$$\begin{aligned}\rho &= 7,5914885; \\ \rho_{\min} &= 7,3679069; \\ \rho_{\max} &= 7,7282926.\end{aligned}$$

Аналізуючы гэтыя лічбы, мы бачым, што каштоўнасць мае толькі лічба 7 (правільная), якая ўсюды супадае, і наступная за ёю лічба 5 (выклікаючая сумненне) і што ўсе лічбы, якія стаяць за лічбай 5, можна адкінуць, таму што яны з'яўляюцца няправільнымі. Але будзьце ўважлівыя пры гэтай аперацыі. Адкідваючы лічбы, вы робіце акругленне ліку, і паколькі першая з адкідваемых лічбаў — 9 (больш за 5), то замест выклікаючай сумненне лічбы 5 трэба ўзяць лічбу 6 і запісаць: $\rho = 7,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Звярніце ўвагу, што здаровы сэнс прывёў нас да таго, што ў канчатковым выніку засталіся толькі дзве лічбы, як і ў ліку, што выражае аб'ём цела, — 21 см^3 .

Апрацоўка вынікаў вымярэнняў і вылічэнняў з'яўляецца важнай галіной дзвюх навук — фізікі і матэматыкі. Велізарны ўклад у гэту галіну быў унесены выдатным рускім вучоным М. М. Крыловым, які распрацаваў асноўныя правілы апрацоўкі вынікаў вымярэнняў. З гэтымі правіламі вы будзеце знаёміцца паступова, паколькі яны патрабуюць адпаведнай матэматычнай падрыхтоўкі. Але ўжо цяпер, на першым этапе вывучэння фізікі, звярніце ўвагу на галоўныя з іх.

1. Немагчымы абсалютна дакладныя прамыя і ўскосныя вымярэнні велічыні.

2. Пры вымярэннях неабходна карыстацца метадамі і прыладамі, што даюць мінімальную хібнасць.

3. Вельмі важна ведаць, на колькі атрыманы вамі вынік можа адрознівацца ад сапраўднага значэння вымяраемай велічыні.

4. Калі значэнне велічыні знаходзіцца не прамым вымярэннем, а ўскосным (па формуле), то дакладнасць канчатковага выніку не можа быць вышэй за дакладнасць у вызначэнні велічыні, вымеранай найбольш груба.

ДАДАТАК 3

Шчыльнасць цвёрдых, вадкіх і газападобных рэчываў (пры нармальным атмасферным ціску)

Рэчывы	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Рэчывы	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Рэчыва ў цвёрдым стане пры 20 °С					
Осмій	22 600	22,6	Мармур	2700	2,7
Ірыдый	22 400	22,4	Шкло аконнае	2500	2,5
Плаціна	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золата	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свінец	11 300	11,3	Соль кухонная	2200	2,2
Серабро	10 500	10,5	Цэгла	1800	1,8
Медзь	8900	8,9	Аргшкло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, жалеза	7800	7,8	Поліэтылен	920	0,92
Волава	7300	7,3	Парафін	900	0,90
Цынк	7100	7,1	Лёд	900	0,90
Чыгун	7000	7,0	Дуб (сухі)	700	0,70
Карунд	4000	4,0	Сасна (сухая)	400	0,40
Алюміній	2700	2,7	Корак	240	0,24

Рэчывы	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Рэчывы	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Вадкасць пры 20 °С					
Ртуць	13 600	13,60	Спірт	800	0,80
Серная кіслата	1800	1,80	Нафта	800	0,80
Гліцэрына	1200	1,20	Ацэтон	790	0,79
Вада марская	1030	1,03	Эфір	710	0,71
Вада	1000	1,00	Бензін	710	0,71
Алей сланечні- кавы	930	0,93	Вадкае волава (пры $t = 400$ °С)	6800	6,80
Масла машыннае	900	0,90	Вадкае паветра		
Газа	800	0,80	(пры $t = -194$ °С)	860	0,86
Газ пры 0 °С					
Хлор	3,210	0,00321	Аксід вугляро- ду(II)		
Аксід вугляро- ду(IV) (вугля- кіслы газ)	1,980	0,00198	(чадны газ)	1,250	0,00125
Кісларод	1,430	0,00143	Прыродны газ	0,800	0,0008
Паветра	1,290	0,00129	Вадзяная пара (пры $t = 100$ °С)	0,590	0,00059
Азот	1,250	0,00125	Гелій	0,180	0,00018
			Вадарод	0,090	0,00009

Адказы да практыкаванняў

Практыкаванне 1. 3. $s = 4,3$ км. 4. $\frac{t_2}{t_1} = 2,5$. 5. $t = 6$ мін.

Практыкаванне 2. 2. $\langle v \rangle = 5,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 3. $\langle v \rangle = 3,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 5. $\langle v \rangle = 3 \frac{\text{км}}{\text{г}}$.

6. $\langle v \rangle = 10 \frac{\text{м}}{\text{мін}}$. 7. $\langle v \rangle = 40 \frac{\text{км}}{\text{г}}$.

Практыкаванне 3. 2. $\frac{F_{\text{ц}} (\text{РТ})}{F_{\text{ц}} (\text{В})} = 13,6$. 4. $\frac{V_1}{V_2} = 4$. 5. $\frac{F_{\text{ц}1}}{F_{\text{ц}2}} = k^2$.

Практыкаванне 5. 3. $P = F_{\text{ц}} = 14$ Н. 5. Чыгун; $P = F_{\text{ц}} = 70$ Н.
6. $\Delta P = 85$ Н.

Практыкаванне 6. 4. $a = 24$ мм.

Практыкаванне 7. 3. $F_{\text{р}} = 200$ Н. 4. $F_{\text{супр}} = 0,8$ кН. 5. $l_1 = 5$ см.

Практыкаванне 9. 6. Не раўнамерна. 8. $h = 100$ м; $A_{\text{ц}} = 80$ кДж;
 $A_{\text{р}} = 40$ кДж.

Практыкаванне 10. 3. $A = 212$ МДж. 4. $t = 4$ с. 5. $m = 0,25$ т.
6. $F_{\text{супр}} = 3,0$ кН.

Практыкаванне 11. 2. $K = 0,20$ МДж. 6. $A_{\text{тр}} = 20$ кДж. 8. $\langle F_{\text{супр}} \rangle = 2$ Н.

Практыкаванне 12. 5. $\Delta \Pi = 17,5$ кДж; $\Delta K = 0$. 7. $A = 66$ кДж.

Практыкаванне 13. 3. $h = 20$ м. 5. $E = 9,6$ Дж; $\Pi = 3,0$ Дж;
 $K = 6,6$ Дж. 6. $h = 80$ м. 8. $h = 15$ м.

Практыкаванне 14. 7. $F_1 = 3,8$ Н; $F_2 = 0$. 9. $l = 24$ см (ад груза 1).

Практыкаванне 15. 4. $F = 175$ Н; $P = 70$ Вт. 6. $F_1 = 250$ Н;
 $F_2 = 260$ Н.

Практыкаванне 16. 2. $A_{\text{вык}} = 0,55$ кДж; $A_{\text{кар}} = 0,50$ кДж; $\eta = 91$ %.
3. $A_{\text{вык}} = 10$ Дж; $A_{\text{кар}} = 8$ Дж; $\eta = 80$ %. 4. $A_{\text{вык}} = 60$ Дж; $A_{\text{кар}} = 50$ Дж;
 $\eta = 83$ %. 5. $A_{\text{вык}} = 24$ кДж; $P = 0,80$ кВт. 6. $A_{\text{кар}} = 30$ кДж. 7. $\eta = 80$ %;
 $P = 0,20$ кВт. 8. $\alpha = 30^\circ$. 9. $\eta = 73$ %.

Практыкаванне 17. 4. Павялічыцца ў 12 разоў. 7. $p = 0,18$ МПа.
9. $b = 25$ см; $c = 10$ см.

Практыкаванне 18. 2. $p = 200$ кПа; $F = 16$ Н. 3. $h_1 = 0,10$ мм;
 $h_2 = 10$ м. 4. $S = 60$ см². 5. $h_B = 9,0$ см; $h_M = 10$ см; $h'_B = h'_M = 9,5$ см.
7. $\frac{F_1}{F_2} = 2$. 9. $m = 10$ кг.

Практыкаванне 19. 5. $P = 0,6$ Н. 6. $\Delta h = 0,4$ м. 7. $h = 9,0$ см.
8. $\Delta h = 2,0$ см.

Практыкаванне 20. 5. $p = 90$ кПа. 8. $F = 11,5$ Н.

Практыкаванне 21. 4. $p = 48$ кПа.

Практыкаванне 22. 3. $F_A = 3,0$ кН. 4. $V = 2,0$ см³. 5. $\Delta F = 0,12$ кН.
6. $V = 40$ см³; $\rho = 5,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. 7. $\rho_{\text{пав}} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 9. $F_1 = 6,04$ Н; $F_2 = 6,11$ Н.
10. $\rho = \frac{\rho_B}{3}$. 11. $V = 50$ см³.

Практыкаванне 23. 3. $m = 80$ кг. 5. $F_{\text{п}} = 0,012$ Н. 6. $P = 88$ Н.

ЗМЕСТ

Як працаваць з падручнікам	3
Раздзел 1. Рух і сілы	5
§ 1. Механічны рух. Адноснасць спакою і руху	6
§ 2. Траекторыя, шлях, час. Адзінкі шляху і часу	8
§ 3. Раўнамерны рух. Скорасць. Адзінкі скорасці	12
§ 4. Графікі шляху і скорасці пры раўнамерным прамалінейным руху	16
§ 5. Нераўнамерны (пераменны) рух. Сярэдняя скорасць	22
§ 6. Чаму змяняецца скорасць руху цела. Інерцыя	27
§ 7. Сіла	31
§ 8. З'ява прыцяжэння. Сіла цяжару	34
§ 9. Сіла пругкасці	39
§ 10. Вага цела	42
§ 11. Адзінка сілы	45
§ 12. Вымярэнне сілы. Дынамометр	48
§ 13. Складанне сіл. Раўнадзейная сіла	52
§ 14. Трэнне. Сіла трэння	58
§ 15. Трэнне спакою. Карыснае прымяненне трэння	62
Раздзел 2. Работа і энергія. Простыя механізмы	65
§ 16. Механічная работа. Адзінкі работы	66
§ 17. Магутнасць. Адзінка магутнасці	70
§ 18. Кінетычная энергія	74
§ 19. Патэнцыяльная энергія	78
§ 20. Разлік патэнцыяльнай энергіі	80
§ 21. Закон захавання механічнай энергіі	84
§ 22. Простыя механізмы	89
§ 23. Рычаг. Умова раўнавагі рычага	91
§ 24. Блокі. Умовы раўнавагі	97
§ 25. Простыя механізмы ў тэхніцы і быце	101
§ 26. Закон роўнасці работ для простых механізмаў. Кэфіцыент карыснага дзеяння	102

Раздзел 3. Ціск	107
§ 27. Ціск. Адзінкі ціску	108
§ 28. Ціск газу	111
§ 29. Перадача ціску газамі і вадкасцямі. Закон Паскаля	116
§ 30. Ціск вадкасці, абумоўлены яе вагой	118
§ 31. Гідраўлічныя механізмы	123
§ 32. Сазлучаныя сасуды	126
§ 33. Газы і іх вага	131
§ 34. Атмасферны ціск	134
§ 35. Вымярэнне атмасфернага ціску. Барометры і манометры	138
§ 36. Дзеянне вадкасці і газу на пагружанае ў іх цела	144
§ 37. Закон Архімеда. Умовы плавання цел	147
§ 38. Плаванне суднаў. Паветраплаванне (для дадатковага чы- тання)	152
Раздзел 4. Лабараторны эксперымент	159
Дадатак 1	169
Дадатак 2	171
Дадатак 3	176
Адказы да практыкаванняў	178

Вучэбнае выданне
Ісачанкава Ларыса Арцёмаўна
Ляшчынскі Юрый Дзмітрыевіч

ФІЗІКА

Падручнік для 7 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання

Заг. рэдакцыі *В. Г. Бехціна*. Рэдактар *Л. В. Грынкевіч*. Афармленне *А. Г. Дашкевіч*. Мастацкі рэдактар *В. І. Казлоў*. Тэхнічны рэдактар *М. І. Чаплаводская*. Камп'ютэрная вёрстка *А. Ю. Пурчонак*. Карэктары *Д. Р. Лосік, В. С. Бабеня, Т. М. Вядзернікава, Г. В. Алешка*.

Падпісана ў друк 14.08.2009. Фармат 70×90¹/₁₆. Папера афсетная. Гарнітура літаратурная. Афсетны друк. Умоўн. друк. арк. 13,46 + 0,29 форз. Ул.-выд. арк. 9,32 + 0,28 форз. Тыраж 25 290 экз. Заказ .

Выдавецкае рэспубліканскае унітарнае прадпрыемства «Народная асвета»
Міністэрства інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

ЛИ № 02330/0494083 ад 03.02.2009.

Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск.

ААТ «Паліграфкамбінат імя Я. Каласа».

ЛП № 02330/0150496 ад 11.03.2009.

Вул. Чырвоная, 23, 220600, Мінск.

Ісачанкава, Л. А.

И85 Фізіка : падруч. для 7-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларус. мовай навучання / Л. А. Ісачанкава, Ю. Дз. Ляшчынскі ; пад рэд. Л. А. Ісачанкавай ; пер. з рус. мовы Т. Р. Сяржант. — Мінск : Нар. асвета, 2009. — 181 с. : іл.

ISBN 978-985-03-1200-6.

УДК 53(075.3=161.3)
ББК 22.3я721

(Назва і нумар школы)

Навучальны год	Імя і прозвішча вучня	Стан падручніка пры атрыманні	Адзнака вучню за карыстанне падручнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			